This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Informazioni su questo libro

Si tratta della copia digitale di un libro che per generazioni è stato conservata negli scaffali di una biblioteca prima di essere digitalizzato da Google nell'ambito del progetto volto a rendere disponibili online i libri di tutto il mondo.

Ha sopravvissuto abbastanza per non essere più protetto dai diritti di copyright e diventare di pubblico dominio. Un libro di pubblico dominio è un libro che non è mai stato protetto dal copyright o i cui termini legali di copyright sono scaduti. La classificazione di un libro come di pubblico dominio può variare da paese a paese. I libri di pubblico dominio sono l'anello di congiunzione con il passato, rappresentano un patrimonio storico, culturale e di conoscenza spesso difficile da scoprire.

Commenti, note e altre annotazioni a margine presenti nel volume originale compariranno in questo file, come testimonianza del lungo viaggio percorso dal libro, dall'editore originale alla biblioteca, per giungere fino a te.

Linee guide per l'utilizzo

Google è orgoglioso di essere il partner delle biblioteche per digitalizzare i materiali di pubblico dominio e renderli universalmente disponibili. I libri di pubblico dominio appartengono al pubblico e noi ne siamo solamente i custodi. Tuttavia questo lavoro è oneroso, pertanto, per poter continuare ad offrire questo servizio abbiamo preso alcune iniziative per impedire l'utilizzo illecito da parte di soggetti commerciali, compresa l'imposizione di restrizioni sull'invio di query automatizzate.

Inoltre ti chiediamo di:

+ *Non fare un uso commerciale di questi file* Abbiamo concepito Google Ricerca Libri per l'uso da parte dei singoli utenti privati e ti chiediamo di utilizzare questi file per uso personale e non a fini commerciali.

+ *Non inviare query automatizzate* Non inviare a Google query automatizzate di alcun tipo. Se stai effettuando delle ricerche nel campo della traduzione automatica, del riconoscimento ottico dei caratteri (OCR) o in altri campi dove necessiti di utilizzare grandi quantità di testo, ti invitiamo a contattarci. Incoraggiamo l'uso dei materiali di pubblico dominio per questi scopi e potremmo esserti di aiuto.

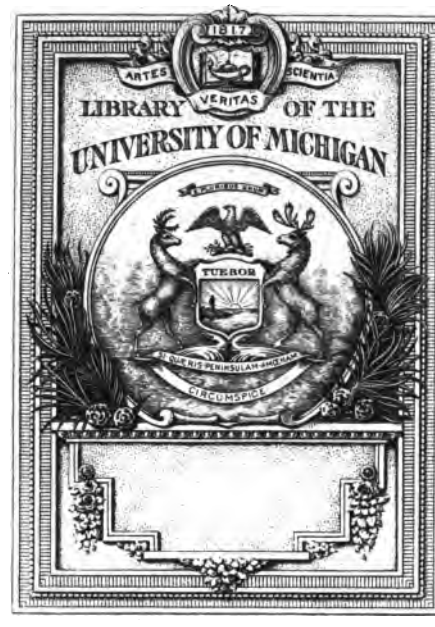
+ *Conserva la filigrana* La "filigrana" (watermark) di Google che compare in ciascun file è essenziale per informare gli utenti su questo progetto e aiutarli a trovare materiali aggiuntivi tramite Google Ricerca Libri. Non rimuoverla.

+ *Fanne un uso legale* Indipendentemente dall'utilizzo che ne farai, ricordati che è tua responsabilità accertati di farne un uso legale. Non dare per scontato che, poiché un libro è di pubblico dominio per gli utenti degli Stati Uniti, sia di pubblico dominio anche per gli utenti di altri paesi. I criteri che stabiliscono se un libro è protetto da copyright variano da Paese a Paese e non possiamo offrire indicazioni se un determinato uso del libro è consentito. Non dare per scontato che poiché un libro compare in Google Ricerca Libri ciò significhi che può essere utilizzato in qualsiasi modo e in qualsiasi Paese del mondo. Le sanzioni per le violazioni del copyright possono essere molto severe.

Informazioni su Google Ricerca Libri

La missione di Google è organizzare le informazioni a livello mondiale e renderle universalmente accessibili e fruibili. Google Ricerca Libri aiuta i lettori a scoprire i libri di tutto il mondo e consente ad autori ed editori di raggiungere un pubblico più ampio. Puoi effettuare una ricerca sul Web nell'intero testo di questo libro da `http://books.google.com`

B 429750


1817
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE

TJ
840
.P12

ESPERIENZE E PRINCIPJ D' IDRAULICA PRATICA

E

DOTTRINA SULLE MACCHINE IDRAULICHE

DI

LUIGI PACINOTTI

PROF. DI FISICA TECNOLOGICA E DI MECCANICA SPERIMENTALE

NELL' UNIVERSITA' DI PISA

LA SCIENZA E L'ARTE

PISA

TIPOGRAFIA PIERACCINI

1851

ESPERIENZE E PRINCIPJ
D' IDRAULICA PRATICA

E

DOTTRINA SULLE MACCHINE IDRAULICHE

DI

LUIGI PACINOTTI

PROF. DI FISICA TECNOLOGICA E DI MECCANICA SPERIMENTALE

NELL' UNIVERSITA' DI PISA

TJ
840
.P12

1807-1877

PISA

TIPOGRAFIA PIERACCINI

1851

ESPERIENZE E PRINCIPJ

D' IDRAULICA PRATICA

Library copy
Perella
5-22-24
9749

CAPITOLO I.

Dell' Equilibrio e della pressione de' Liquidi.

12-5-35 MAR

1. *Nozioni preliminari.* — I.° La pressione dell' atmosfera che agisce sù liquidi contenuti in vasi aperti si valuta $1^k,033$ per ogni centimetro quadro. L' acqua è perfettamente elastica, e si comprime circa 48 millionesimi del suo volume per ogni atmosfera di pressione.

II.° Riterremo l' acqua e gli altri liquidi, quali fluidi incompressibili atteso la loro minima compressibilità; ed anche assumeremo come del tutto sciolte le particelle nei liquidi ed in particolare nell' acqua, riserbandoci di fare le convenienti correzioni alle teorie che in questa ipotesi vengono stabilite per renderle più adatte ai casi in cui l' acqua presenta viscosità, e legame nelle sue particelle.

III.° Dal sistema metrico decimale sappiamo che l' acqua distillata al maximum di densità pesa kil. 1000. per ogni metro cubo, e noi usiamo questo numero; il quale adottando il rammentato sistema colle sue frazioni decimali facilita i calcoli occorrenti in idraulica, sebbene nelle più comuni temperature il metro cubo di acqua non sia che 999^k. Allorquando occorresse tener conto della diversa gravità specifica che può l' acqua acquistare nelle differenti circostanze, sarà conveniente ricorrere ad una tavola la quale assegni la sua diversa densità alle differenti temperature. E qui basterà che io riferisca che a 4°,1. C. la densità dell' acqua e massima, e questa presa per 1 si ha

a 100°. C. per densità .	0,957
a 50°.	0,988
a 30°.	0,996
a 0	0,99989

IV.° Proponendomi di adottare nei calcoli il sistema metrico, cioè il metro per unità di estensione lineare, e il kilogrammo per unità di peso, interessa per le applicazioni aver presente il rapporto di queste colle al-

tre unità lineari e di peso, il braccio e la libbra, che si usano in Toscana

$1^k = 2^l.\ 11^o.\ 8^d.\ 4,^g83'1.\ \mathfrak{R} = 0^k,3395$

$1^m = 1^b.\ 14^{\cdot}:\ 7^d,35\quad 1.\ B^o = 0^m,5836$

V.° Nei calcoli useremo per il valore della gravità $g = 9^m,8$ che nei nostri paesi è alquanto più prossimo al vero dell' altro $9^m,81$, ma la lor differenza non porta generalmente resultati diversi, ed è perciò che da molti autori vien ritenuto il numero secondo. Dal moto uniformemente accelerato nella caduta de' gravi per la verticale si deduce che l' altezza percorsa è data dalla metà della gravità moltiplicata per il quadrato del tempo in cui ha seguitato il moto, lo che si esprime con

$$a = \frac{gt^2}{2} = \frac{9,8.\,t^2}{2} = 4,9.\,t^2$$

ovvero che quell' altezza è data dal quadrato della velocità acquistata nel moto diviso per il doppio della gravità, e ciò esprimesi

$$a = \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2.\,9,8} = 0,051.\,v^2$$

e che per conseguenza la velocità dovuta all' altezza a è

$$v = \sqrt{2ga} = \sqrt{2.\,9,8.\,a} = 4,427\sqrt{a}$$

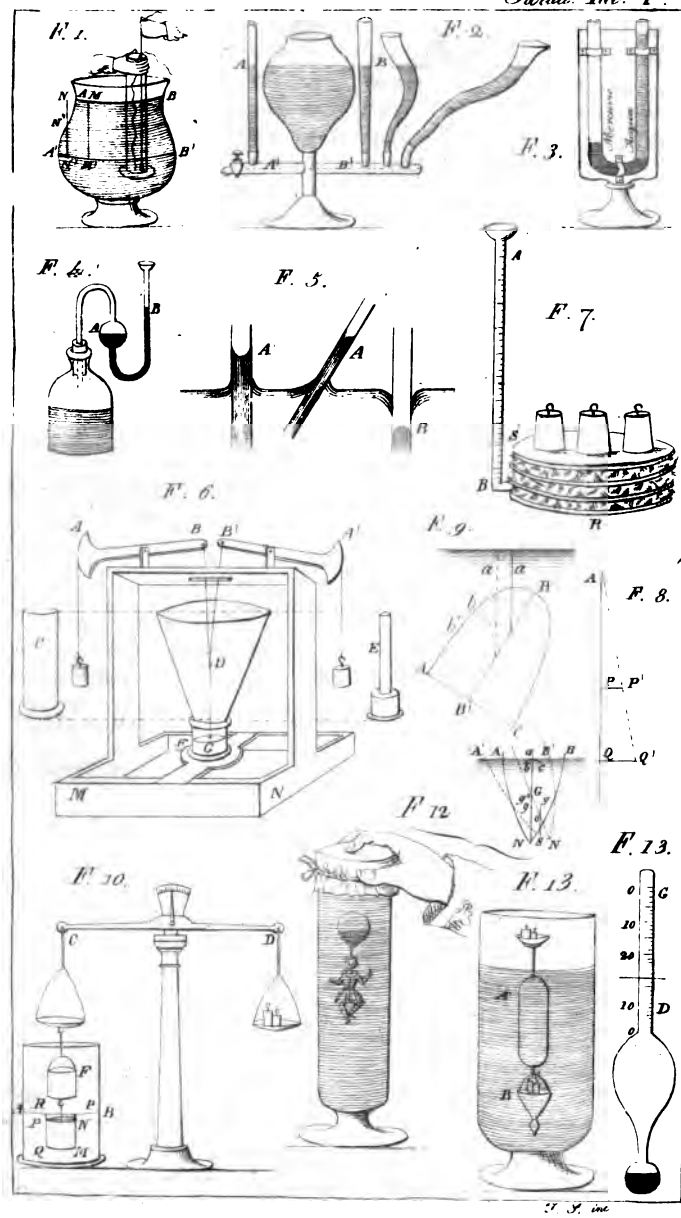
Dei Liquidi equilibrati nei vasi

2. *Equilibrio nei Liquidi, e dilucidazione del principio di Pascal.* — Ammesso il principio d'eguaglianza di pressione (*Int.* 138.) per il quale una particella fluida premuta in una direzione con una certa forza ripreme essa colla stessa forza tutte le altre particelle circonvicine, ne segue

I.° In un vaso ripieno di acqua fatta una pressione alla superficie superiore del liquido, questa si reparte egualmente non solo a tutte le particelle fluide sulle quali direttamente agivasi, ma anche alle altre che compongono la massa fluida. Cosicchè se la pressione era di $2.^k$ per ogni centimetro quadrato di superficie, in qualunque luogo nella massa liquida si consideri un centimetro quadrato, vi si avrà accresciuta la pressione primitiva per 2^k. Posto che la superficie interna del vaso fosse di 30 centimetri quadrati, e quella della superficie che abbiamo premuta 4 centri; con 8^k. di pressione fatta alla superficie superiore, si è sulle pareti del vaso sviluppata una pressione di 60^k. Questa moltiplicazione di pressione non deve sorprendere perchè è ciò che suole accadere per il solo effetto dell' elasticità. Infatti anche nei solidi accade, e se noi comprimiamo con 2^k. di peso una verga di ferro collocata in direzione verticale tutti gli strati orizzontali della verga risentono la pressione dei due kil; l' unica differenza consiste nell' essere i liquidi sciolti nelle loro particelle per cui si può render sensibile la pressione in ogni direzione.

II.° La pressione comunicata si rende sensibile con un movimento di particelle: onde da essa, compresse quelle che sono sù quattro centimetri quadrati della superficie superiore, tendono a sfuggire in ogni direzione tutte le particelle che sono ai 30 centimetri quadrati della superficie interna del vaso. Contuttociò non può dirsi che dal principio d' eguaglianza di pressione si abbia aumento nel lavoro meccanico: infatti supponiamo che per questa pressione il vaso si dilati, ed ogni punto della superficie si allontani per 5^{mm}. avremo prodotto un lavoro meccanico di $60^k.0^m,005 = 0^{km},3$. Ma anche il lavoro meccanico comunicato sarà il medesimo, perchè la pressione comunicata è 8^k, e onde la massa fluida

Idrau. Tav. I.



T. S. inc.

non si rendesse discontinua la superficie premuta si sarà dovuta abbassare tanto più del dilatamento che han sofferto le pareti, quanto questa era meno estesa di quella, cioè per $7\,^1/_2.5^{mm} = 37^{mm},5$; e $8^k.0^m,0375 = 0^{km},3$ è il tavoro comunicato.

III.° Non sarà equilibrio nei fluidi se una particella è premuta più in un senso che per l'altro; e realmente se si preme una porzione della rammentata superficie superiore del liquido, questa si abbassa in quel luogo, e si inalza nelle altre parti finchè non ha su tutte egual pressione.

IV.° Affinchè sia in equilibrio una massa fluida converrà che lo sia ciascuna particella, o che venga questa egualmente premuta in ogni senso. Vediamo come ciò si verifichi sui liquidi gravi, voglio dire sollecitati dalla sola forza di gravità.

3. *Equilibrio dei Liquidi gravi omogenei.* — I liquidi che sono sollecitati dalla sola forza di gravità, posti nei vasi rimangono in equilibrio quando in essi la superficie libera (Tav. I. fig. 1.) AB, o di livello, è in piano orizzontale. Infatti con questa condizione non posson moversi le particelle che sono alla superficie agendo contro la forza di gravità la reazione delle particelle sottoposte. Senza di questa, quando cioè fosse obliqua all' orizzonte la superficie libera, discenderebbero le particelle come lungo un piano inclinato. Non possono mentre ha luogo la notata condizione muoversi neppure le particelle che sono in qualsivoglia altro strato orizzontale della massa liquida essendo ciascuna premuta dal peso di un egual colonna liquida che le rimane sovrastante.

Una massa liquida estesissima come quella che si ha nei mari sarà in equilibrio quando la sua superficie è in tutti i suoi punti normale alla direzione di gravità, a perciò quando è convessa, come richiede la figura del globo terraqueo.

4. *Pressioni nei differenti strati della massa liquida.* — La pressione sovra una particella liquida M' che rimane in direzione verticale sotto un qualche punto della superficie di livello è evidentemente cagionata dal peso della colonnetta liquida MM' verticale che le rimane sovrastante. Quindi nell' interno del liquido la pressione è uguale sù tutte le particelle che sono in un medesimo strato orizzontale A'B', ma varia passando da uno in un altro, e cresce tanto più quanto lo strato è più profondo sotto il livello. Si rende ciò manifesto sperimentalmente immergendo a differenti profondità un cilindro PQ di cristallo con bordo arrotato che per chiusura alla parte inferiore ha appressato un disco di metallo. Quando il cilindro si trova ad una certa profondità il disco vi sta aderente, e a proprofondità maggiori non si distacca neppure aggravandovi dei pesi proporzionali alle profondità istesse. Per ottener la misura della pressione prodotta dall'acqua in un qualsivoglia strato, si noterà di quanti centimetri è quello basso al di sotto del livello, e di altrettanti grammi sarà la pressione che vi si fa per ogni centimetro quadrato di superficie. In uno strato esteso per sette centimetri quadri e profondo sotto al livello per tre centimetri si eserciterà dall'acqua sopraposta una pressione di 21 grammi. Se fosse la pressione fatta da altro liquido converrebbe moltiplicare per la gravità specifica del liquido stesso il numero ottenuto colla regola precedentemente assegnata per l'acqua.

Non sù tutte le particelle che sono in una sezione orizzontale di un liquido contenuto in un vaso è necessario che esista la colonna liquida sovraposta fino al livello. Se il vaso avrà un' incavo o formerà una pancia in tal luogo la verticale raggiungerà la parete del vaso e non il livello. Pur non ostante anche le particelle che restano in questa stessa posizione sono sottoposte alla pressione di quelle che hanno sovra a loro la colonna liquida fino al livello, giacchè alla mancanza di questa supplisce la parete premuta con la conveniente reazione: così la particella N' è premuta quanto M' sebbene la colonna sovrastante N'N'' sia più piccola di M'M perchè alla differenza N''N supplisce la pressione della parete, e ciò per il principio d'eguaglianza di pressione.

5. *Nei vasi comunicanti i piani di livello sono tutti sul prolungamento dello stesso piano orizzontale.* — Per il medesimo principio di Pascal ora rammentato s'intende come avendosi un vaso diviso in più compartimenti, o formato da più vasi o tubi comunicanti fra loro (Tav. I. fig. 2), ancorchè i tubi fossero di diversissimo diametro e di qualunque forma, sempre l'acqua posta in un vaso si repartirà negli altri inalzandosi in tutti ad eguale altezza AB, o come suol dirsi si livellerà in tutti quando sia in equilibrio. Senza questa posizione non potrebbero essere premute egualmente tutte le particelle dell'acqua che sono nel medesimo strato orizzontale in quella parte come A'B' ove comunicano i vasi. Solo la capillarità dei tubi potrà fare inalzare il liquido più in alcuni tubi che in altri, ma di ciò non si tien conto in idraulica essendo cosa di piccolo effetto, e verificabile nei tubi di diametro strettissimo o lungo le pareti del vaso.

6. *Equilibrio nei Liquidi eterogenei.* — Quando non è omogeneo il liquido contenuto in un vaso o almeno non ha egual densità in tutte le sue parti, affinchè possa in uno stesso strato orizzontale aversi in ogni punto egual pressione, e la massa liquida rimanga in equilibrio stabile, fa duopo che il liquido più pesante sia il più basso, e sia in piano orizzontale la separazione dei fluidi di differente peso specifico.

L'equilibrio instabile potrebbe aversi anche col porre uno strato più pesante sovra uno più leggero, ma in pratica ciò non si effettua che in tubi sottilissimi: ivi una piccola quantità di mercurio che riempia per qualche millimetro il tubo può stare anche sovra l'acqua che n'empieva la parte inferiore.

Mescolando colla conveniente proporzione l'acqua collo spirito di vino può ottenersi un liquido che abbia la stessa gravità specifica dell'olio, allora potranno facilmente con una pipetta introdursi nella massa liquida dei globetti d'olio, i quali vi staranno equilibrati in qualunque posizione, e coll'acquistarvi la forma sferica daranno manifesta prova del principio d'eguaglianza di pressione in ogni senso.

7. *Nei vasi comunicanti i liquidi eterogenei s'inalzano ad altezze reciproche alle loro gravità specifiche.* — Appunto perchè proviene la pressione che soffre una particella liquida dal peso della colonnetta del liquido che li è sovrastante in direzione verticale, al crescere della gravità specifica di esso liquido dovrà diminuire la sua altezza acciocchè resti ferma la pressione che esso produce, e viceversa: onde se due co-

lonne di liquidi diversi si hanno da equilibrare converrà che le loro altezze sieno in ragione reciproca alle respettive gravità specifiche così il mercurio (Tav. 1. fig. 3) equilibrerà l' acqua stando l' altezza di quello all' altezza di questa :: 1 : 13,6.

Di qui si rileva un modo per determinare il rapporto tra le gravità specifiche dei differenti liquidi, e nel mercurio l' altezza 13,6 assegnerà la sua gravità specifica. In generale per avere la gravità specifica del liquido equilibrato coll' acqua si divida l' altezza della colonna d'acqua per quella dell' altro liquido, computate queste sulla verticale condotta sul piano AB orizzontale che stabilisce la separazione tra i due liquidi.

Anche il medesimo liquido se da una parte del tubo fosse tenuto ad elevata temperatura e dall' altra a temperatura bassa per stabilire l' equilibrio si solleverà il liquido tanto più nella prima che nella seconda parte in modo che le altezze sieno reciproche alle gravità specifiche che acquista il liquido sotto le due temperature. Di questo metodo si son valuti Doulong e Petit per determinare la dilazione assoluta del mercurio.

Mi son partito dalla supposizione che al di sopra del livello del liquido sia tanto in una parte del vaso che nell' altra egual pressione dell' atmosfera, se per altro questa pressione fosse differente la diversa altezza a cui stanno le colonne liquide non indica la differenza della lor gravità specifica. Posto infatti che il liquido sia eguale in ambedue le parti, le altezze delle colonne liquide quando sono in equilibrio mostrano la differenza delle pressioni alle quali sono sottoposte. Di qui l' uso che si fa principalmente dai chimici dei manometri a tubo aperto (Tav. I. fig. 4.) Posto che il manometro agisca a mercurio, e che un gaz tenga in A abbassato il liquido per 2 centimetri al di sotto del livello B diremo che le sua pressione è di un' atmosfera e $^2/_{76}$ di atmosfera.

Qualunque sia la figura del vaso simmetrica o nò alle due parti han luogo gli indicati teoremi, e solo deve farsi eccezione per quei vasi che agiscono sui liquidi colla loro capillarità potendo questa forza come se fosse un' aumento o una diminuzione di pressione fare inalzare o abbassare la colonna liquida, come si vedrà qui appresso.

8. *Effetti della capillarità*.— Tali effetti si rendono maggiormente marcati nei tubi capillari o di strettissimo diametro, e devono attribuirsi al rapporto che esiste tra la forza che lega fra loro le particelle liquide, e quella di affinità che passa tra le dette particelle liquide e la materia che compone la superficie interna del vaso. È per questo che la capillarità ha un diverso valore a seconda dei differenti liquidi, alle differenti temperature, e nei differenti vasi. Io per far comprendere i fenomeni principali riferirò il discorso all' acqua e al mercurio contenuti in tubi di vetro.

Se il liquido bagna le pareti del tubo si eleva un ciglio liquido lungo di esse, la superficie di livello si fa concava, il liquido si solleva dentro al tubo, e tanto più quanto il tubo è di minor diametro. Questo ha luogo sull' acqua contenuta in tubi di vetro A (Tav. I. fig. 5).

L' esperienze di Gay-Lussac han mostrato che la elevazione nei tubi sta in ragione inversa del loro diametro, e che per i seguenti liquidi in

un tubo il quale abbia il diametro di un millimetro si ha

Sostanze	*Densità*	*Temper.*	*Elevazione*
Acqua	1	8°,5.C	29^{mm},79
Alcool	0,8196	8°	12,18
id.	0,8135	16°	9,15
id.	0,8595	10°	12,01
id.	0,9415	8°	12,91
Essenza di Terebinto	0,8695	8°	12,72

Se il liquido non bagna le pareti, lo che accade ben di raro nell'acqua, e si ha tra il vetro e il mercurio, il fenomeno B è opposto, si fa nella massa liquida un incavo lungo le pareti del tubo la superficie di livello diviene convessa, il liquido si deprime nel tubo, e tanto più quanto questo è maggiormente capillare.

Questo fenomeno è interessante conoscersi per sapere quanto nel barometro la colonna del mercurio si tiene abbassata per effetto della capillarità. Posto che il mercurio sia ben netto e bollito potremo conoscere tal depressione col mezzo della seguente tavola

Diam.	*Depress.*	*Diam.*	*Depress.*
2^{mm}	4^{mm},579	9^{mm}	0$^{m.m}$,534
2,5	3,594	10	0,419
3	2,902	11	0,330
3,5	2,415	12	0,260
4	2,053	13	0,204
4,5	1,752	14	0,161
5	1,507	15	0,127
5,5	1,306	16	0,097
6	1,136	17	0,077
6,5	0,995	18	0,060
7	0,877	19	0,047
8	0,684	20	0,036

L'azione della capillarità dipendendo dalle pareti del tubo non si ottiene il trabocco del liquido, ancor quando il tubo fosse lungo meno di quanto la capillarità lo solleverebbe in egual tubo di maggiore altezza. Due lastre avvicinate agiscono in modo analogo ai tubi, e così pure tutti i tessuti porosi come la carta straccia, il lucignolo de' lumi ec.

La maggior curvatura sulla concavità o convessità della superficie fa conoscere la maggior forza di capillarità; sempre l'azione di questa forza è diretta dalla superficie al centro della curva. Onde in un sottil tubetto di vetro coniforme si potrà tener dell'acqua sebbene aperto da ambedue le parti quando la sezione più stretta o la maggiore concavità della superficie liquida sia alla parte di sopra. Come anche si potrà tener del mercurio nella disposizione opposta, quando la parte più stretta sia volta al basso.

Due galleggianti leggerissimi, come due globetti soffiati di cristallo, posti ad una certa distanza sul livello di acqua, fanno curva la superficie interposta del liquido, ed allora si vedono avvicinarsi ed unirsi se ambedue erano a superficie pulita o bagnati dal liquido, egualmente si vedono avvicinarsi se erano a superficie coperta di nero fumo, e perciò non bagnata dal liquido. E si mantengono distanti l'uno dall'altro se uno sia bagnato, e l'altro nò.

9. *Pressioni contro le pareti orizzontali dei vasi.* — Proponiamoci in primo luogo di parlare del fondo orizzontale di un vaso. Deve questo fondo andar soggetto a quella stessa pressione cui soggiacerebbe uno strato di liquido che tenesse il suo luogo, e perciò la misura di quella verrà data dal peso di un cilindro e

prisma retto di liquido, che abbia per base il fondo premuto, e per altezza la distanza che è tra questo e il livello. E ciò è vero non solo quando il vaso contiene precisamente il liquido che riempie il detto prisma, ma anche quando ne contenesse molto più, o molto meno. A chiarire questo punto sarà bene riferire la seguente esperienza. Tre vasi C, D, E (Tav. I. fig. 6.) di differente figura abbiano il medesimo fondo: Alla cunelletta MN siano imperniate due leve AB, A'B' che aggravate da una parte di un peso portino dall' altra con una corda uno stantuffo G: questo serva da fondo mobile prima al vaso cilindrico C, poi ad un vaso conico divergente D, ed in fine ad un vaso E che termina in un sottil tubo. Tali vasi si avvitano l' uno dopo l'altro al cilindro F ove giuoca lo stantuffo, e poi si riempiono di acqua, ed appenachè l' acqua giunge in tutti egualmente alla stessa altezza il loro fondo cede abbassandosi. Onde ben scorgesi che non dalla quantità d' acqua che stà nel vaso, ma dall' altezza cui l' acqua si solleva, deve calcolarsi la pressione sul fondo. Nel vaso conico divergente D l' acqua che sopravanza a quella del cilindro fluido, che col suo peso misura la pressione sul fondo, può dirsi che gravita sulle pareti laterali. Nel vaso E alla mancanza dell' acqua necessaria a formare il peso che determina la pressione sul fondo, supplisce la reazione di quella parete che chiude superiormente una porzione del vaso e lo riduce ad un sottile tubo. Essa infatti è premuta dal liquido di basso in alto, ed egualmente ripreme quello in senso opposto. Anche la pressione che si fa di basso in alto sù questa parte si misura dal peso di un cilindro di acqua che ha per base la superficie orizzontale premuta e per altezza la distanza tra quella e il livello.

Questa dottrina porta a spiegare il prodigioso effetto del mantice idrostatico (Tav. I. fig. 7): poca acqua che si ponga nel lungo tubo AB basta a far sollevare il piano S, e con esso i pesi che vi sono aggregati aprendosi il mantice che lo unisce all' altro piano R. Mai però il lavoro meccanico utile è più grande di quello motore: che se sollevansi grandi pesi per es.° 200.^{k} impiegando l' acqua che si abbassa in un tubo che ha per sezione un centimetro quadrato avremo un' abbassamento in questo almeno 200000 volte più grande dell' inalzamento dei pesi.

In egual modo si comprende il grand'effetto della pressione idrostatica sugli argini: un' infiltrazione molto estesa nell' argine allorchè cresce l' acqua nel fiume dà una forza che diminuisce molto il peso dell' argine smosso, e che ne facilita la caduta.

10. *Pressione sulle pareti verticali o inclinate nei vasi.* — Chiamata *b* una particella elementare della parete, *a* la sua distanza verticale dal livello, e *p* il peso specifico del liquido, avremo con *abp*, espressa la pressione sulla particella considerata. E siccome *bp* può aversi per il peso della particella liquida che terrebbe il posto di quella della parete può dirsi essere *abp* il momento di quel peso riferito al piano di livello. Ora ripetuto per ogni altra particella lo stesso ragionamento, si avrà nella somma delle pressioni elementari sofferte dalla parete, la somma dei momenti delle sue particelle, considerate composte dal liquido, riferiti al piano di livello. Per la dottrina dei momenti potremo invece di questa somma prendere il momento della resultante, che è il peso della pa-

rete, se fosse di liquido, moltiplicato per la distanza verticale del suo centro di gravità dalla superficie di livello. Dunque

I. La superficie della parete premuta moltiplicata per il peso specifico del liquido, e per la distanza del centro di gravità dal suo livello rappresenta la pressione sulla parete stessa, la quale si effettua ad essa normale. Questo teorema abbraccia non solo il caso delle pareti verticali, ed inclinate quant' anche quello delle orizzontali

II. Una stessa parete soffre perciò differente pressione secondo che coll'essere più o meno inclinata varia la posizione del suo centro di gravità. Se questo centro non cambia posto e il livello si mantiene il medesimo, anche la pressione è sempre la medesima comunque si vari la posizione della parete.

III. In una parete curva il centro di gravità può rimanere in un punto posto fuori di essa, e perciò per aversi la total pressione deve determinarsi prima questo punto colle regole insegnate (*Mecc.* 125). Vero è però che nei casi di pratica tal determinazione è facile farsi essendo le superficie curve di uso la cilindrica, la conica, e la sferica che hanno il centro di gravità sull'asse in un punto facilmente determinabile.

Applicazioni

11. *Pareti di egual resistenza.*— Tal pressione totale non è repartita egualmente su tutti i punti, ma la risentono maggiore quelli che restano più in basso come appunto si è detto (4) parlando delle pressioni nei diversi strati del liquido. Quindi se la parete fosse ovunque di eguale grossezza cederebbe più facilmente nelle parti più basse, e di eguale resistenza si direbbe solo quando ovunque fosse egualmente esposta alla rottura. La regola per disegnare la grossezza che si ha a dare nei diversi punti alla parete di un vaso di egual resistenza è la seguente. Rappresentiamo con P (Tav. I. fig. 8) un punto del vaso ove la pressione dell'acqua dipende dall'altezza PA, e PP′ sia la grossezza che ivi deve avere il vaso per resistere; e si voglia determinare la grossezza in un altro punto Q. Certo è che la grossezza deve esser tanto più grande di quella che si ha in P quanto l'altezza dell'acqua sovra Q è maggiore di quella sovra P. Per conseguenza posto che PA, QA′ rappresentino i due battenti sopra P e Q, e tirata la retta QQ′ parallela a PP′ finchè non incontra il prolungamento di AP′, sarà QQ′ la grossezza cercata. La sezione della parete sarà dunque in figura di trapezio e proporzionalmente crescente in basso.

12. *Fermezza degli argini, e quando essi acquistino stabilità all' alzarsi dell'acqua nei fiumi.* — Le regole che in meccanica si sono stabilite per determinare l'equilibrio ne' piedritti (*Mecc.* 155.) sono applicabili anche per quello degli argini purchè si consideri nella spinta la pressione e l'urto che potrebbero essi risentire dalle acque. Trattandosi della sola pressione idrostatica, come avviene negli argini dei fiumi ove il loro corso è parallelo alla linea dell'argine stesso, ne abbiamo insegnato a determinare la spinta (10), e per meglio assicurarsi della stabilità calcoleremo sempre che l'acqua giunga al ciglio dell'argine. Oltre al riguardar l'argine come un solido tutto di un pezzo, lo considereremo anche formato in parti per le rotture che vi potessero seguire.

In seguito insegneremo a qual punto si deva intendere applicata la resultante delle pressioni, e da quello che diremo della stabilità delle serre verrà chiaro ogni calcolo che può occorrere per gli argini. Ed essendo questo punto sempre più basso del centro di gravità dell'argine comprendesi che spesso più facile sarà sodisfare alle condizioni d'equilibrio per il moto rotatorio dell'argine, che a quelle pel moto progressivo, tanto più che la pressione idrostatica per l'effetto delle infiltrazioni tende (9) a scemarne il peso. D'altra parte al moto rotatorio si oppone la grande scarpa che suol darsi agli argini: quando sono di terra si usa una scarpa per lo meno eguale all'altezza. Questa però se sia alla parte interna contraria molto anche il moto progressivo come manifestamente resulta da quanto sono per dire.

Oltre all'intensità deve attendersi anche la direzione della pressione, la quale si è detto esser normale alla parete, poichè da quella spesso ne viene la figura che si ha a dare agli argini dei fiumi. Infatti noi ci potremmo proporre che al sollevarsi del pelo dell'acqua nel fiume non dovesse l'argine acquistar facilità a rovesciarsi, e si giungerà alla soluzione riflettendo che il rovesciamento non accade se la direzione della pressione prolungata va a cadere dentro la base dell'argine. Ciò avrà luogo quando il profilo della sezione alla parte interna dell'argine sia una curva il cui raggio di curvatura prolungato incontri la base dell'argine. Dunque in questo caso sempre la stabilità dell'argine al rovesciamento avrà luogo qualunque sia l'altezza del pelo dell'acqua nel fiume. Realmente converrebbe comporre la pressione (*Mecc.* 155) col peso dell'argine, ed osservare se la resultante passa fuori della base dell'argine, ma quando non vi passa il raggio d'osculo del profilo interno dell'argine, molto meno vi passerà la resultante indicata, e potremo adunque dire che, fatta astrazione dal peso dell'argine, cresce la stabilità dell'argine al sollevarsi del pelo dell'acqua nel fiume quando il profilo interno della sezione dell'argine è una curva i cui raggi d'osculo ne tagliano la base.

13. *Determinazione della grossezza delle saracinesche.* — Quello che abbiam detto sulla pressione delle pareti si applica per calcolare quanto sforzo ha da fare una saracinesca o cateratta per resistere alla pressione del liquido. Si scorge che la pressione cresce proporzionalmente alla profondità, e perciò nella stessa proporzione dovrebbero aumentarsi le grossezze de' suoi diversi strati. Ordinariamente si dà alla saracinesca una grossezza costante, e nel medesimo tempo si procura che questa corrisponda alla pressione più grande che si fa al fondo. Sia a la larghezza in metri della saracinesca, c la grossezza, 1000^k il peso di un metro cubo di acqua, A l'altezza del pelo dell'acqua, e b l'altezza di un piccolo strato, sarà $1000^k.A.ba$ la pressione sù quello. E per le formule della resistenza, trattandosi di un solido appoggiato ai suoi due estremi abbiamo che il quarto di questa forza deve eguagliare la resistenza dei solidi incastrati ad un'estremo la quale si esprime con

$$\frac{R\,b\,c^2}{6\,.\,a}$$

Onde otterremo in metri la grossezza cercata dalla formula

$$c = a\sqrt{\frac{1500^k.\,A}{R}}$$

la quale nel caso che si faccia la saracinesca di castagno diviene

$$c = {}^1/_{10}\, a \sqrt{A}$$

14. *Della resistenza dei tubi.* — Un tubo resiste in proporzione della grossezza S delle sue pareti, ed in proporzione della resistenza alla rottura della materia di cui si compone. Onde può esprimersi con RS la resistenza del tubo alla rottura. La pressione dell' acqua sovra un' armilla del tubo di una piccola lunghezza l sarà $a'.2\pi r.l.p$ rappresentando con a l' altezza dell'acqua con p il suo peso specifico, e con r il raggio del tubo. Per due tubi diversi dovrà aversi proporzione fra la resistenza, e la pressione che soffrono, e perciò RS : R'S' :: $ar : a'r'$. Dalla quale proporzione deduciamo la grossezza da assegnarsi ad un tubo mentre è noto quella che ha resistito nell' altro cioè

$$S' = \frac{R.S.a'.r'}{R'.a.r}$$

È stato sperimentato che un tubo di piombo grosso $0^m,0140$, e di diametro $0,^m433$ ha sostenuto un carico di $16^m,24$ di acqua. E il Mariotte stabilisce che un tubo di rame di $0^m,1624$ in diam. per sostenere un carico di $9^m,74$ d'acqua deve avere $0^m,00112$ di grossezza. Onde per i tubi di piombo porremo la grossezza

$$S' = 0^m,00414.\ a'.r'$$

e per quelli di rame

$$S' = 0^m,00142\ .\ a'.r'$$

Per il ferro laminato potrebbe usarsi una sottigliezza doppia del rame se non vi fosse da temere per la saldatura, e per le ossidazioni. Stando ai rapporti di resistenze per i tubi di vetro si potrà usare la formula stabilita per il piombo. Tali formule danno grossezze superiori a quelle che si potrebbero dedurre direttamente dalla resistenza dei materiali.

Centro di pressione

15 *Centro di pressione.* — Il punto ove sarebbe applicata la resultante di tutte le pressioni elementari che si fanno sopra una parete, chiamasi centro di pressione. Si concepirà meglio questo centro, studiando il modo di determinarlo in una superficie qualunque ABC, (Tav. I. fig. 9). Suppongasi questa divisa in filamenti orizzontali, uno dei quali sia b e posto al di sotto del livello per un' altezza a e chiamato p il peso specifico del liquido avremo che la pressione sù questo elemento è abp. Prendendo il momento di questa pressione riferito al piano di livello avremo a^2bp. Parimente per gli altri elementi b', b'' ec. avremo $a'^2b'p$, $a''^2b''p$ ec. Ora siccome la somma dei momenti delle componenti è eguale al momento della resultante, rappresenteremo con x la distanza del centro di pressione dal livello, con B la superficie ABC, e con A la distanza del suo centro di gravità dal livello ed avremo per il momento della resultante $xABp$, e perciò dalla formula

$$x = \frac{a^2b + a'^2b' + a''^2b'' + \text{ec.}}{AB}$$

resterà determinata la profondità del centro di pressione al di sotto del livello. Coloro che conoscono il calcolo ben intendono come data una particolar figura alla superficie ne resulta il valor particolare e determinato per x che noi appresso riferiremo. Qui per comprendere il vantaggio di questo ragionamento ne deduco

I. Se la superficie ABC avrà un'asse BB' di simmetria il quale passi per la metà di tutti gli elementi sù quell' asse stesso resterà il centro di pressione

II. Se molto profonda sotto al li-

vello sia la superficie premuta, potrà supporsi $a = a' = a'' =$ ec. $= A$, ma $b + b' + b'' + \ldots = B$, onde avremo

$$x = \frac{A^2 B}{AB} = A$$

cioè il centro di pressione coinciderà col centro di gravità

III. Quando questa profondità è piccola vi saranno delle quantità a, a' ec. piccolissime in confronto di A ed altre molto grandi per cui i quadrati di quest' ultime dando un' eccesso più grande del difetto delle altre, avremo $x > A$, cioè il centro di pressione sarà più basso del centro di gravità. Ciò può dedursi anche dalla natura delle pressioni essendo esse più grandi sugli elementi bassi che sù quelli alti

IV. La superficie essendo orizzontale si ha con esattezza

$$a = a' = a'' = \ldots = h,$$

e perciò il centro di gravità coincide col centro di pressione.

V. Per determinare con approssimazione il centro di pressione ci insegna la precedente formula di considerare la superficie divisa in parti non però elementari come suppone la tèoria, ma di una conveniente grandezza, come in quattro o sei parti, e per ciascuna determinare il valore $a^2 b$ prendendone direttamente le misure, e ridurre tutta la formula in numeri

VI. L' ingegnere ha da far uso della dottrina di questo centro per giudicar del luogo ove l'argine ha più bisogno di esser rinforzato. Se il centro di pressione esiste, e se l' argine può riguardarsi come tutto di un pezzo, ogni cura deve rivolgersi a tener fermo quel centro. Quando non possono ridursi tutte le pressioni ad una sola resultante, sarà utile conoscere le due o tre forze a cui possono esse ridursi, e determinare i loro punti d' applicazione.

16. *Determinazione del centro di pressione nelle differenti figure.* — I. Daremo un' esempio di deduzione dalla precedente formula della posizione del centro di pressione facendo uso di sole considerazioni geometriche. La superficie sia un rettangolo che ha il lato superiore a fior d' acqua. I suoi elementi b, b' ec. saran tutti eguali, e li rappresenteremo con la base b, del rettangolo moltiplicata per una minima altezza l, La superficie totale del rettangolo porremo che sia $B = b \times L$, inoltre è $A = {}^1/_2\, L$. La formula si ridurrà

$$x = \frac{a^2 l + a'^2 l + a''^2 l + \text{ec.}}{{}^1/_2\, L^2}$$

Il numeratore di questa frazione è la misura di tanti parallelopipedi a base quadrata che hanno tutti per altezza la quantità minima l e per lato nella base le quantità a, a', a'', ec. Ma queste quantità van crescendo insensibilmente da zero fino ad L. Ora se finghiamo di avere una piramide a base quadrata con lato L e dell' altezza L, i diversi strati paralleli alla base in cui può intendersi decomposta tal piramide ci rappresentano i rammentati parallelopipedi, e tutto il numeratore è la solidità della piramide, cioè ${}^1/_3\, L^3$. Onde sarà

$$x = \frac{{}^1/_3\, L^3}{{}^1/_2\, L^2} = {}^2/_3\, L$$

vale a dire

Il rettangolo, che è posto a fior d'acqua con un suo lato, ha il centro di pressione a ${}^2/_3$ dell' asse

II. Il triangolo posto colla base orizzontale e con il vertice a fior d' acqua ha il centro di pressione ai ${}^3/_4$ della linea che va dal vertice alla metà della base. Nello stesso triangolo capivolto rimane alla metà del detto asse

III. In un trapezio che ha un lato a fior d'acqua, e la cui equazione è $y^2 = (ax+b)^2$ il centro di pressione è sull'asse c alla distanza dal livello

$$X = \frac{c}{2} \cdot \frac{3ac + 4b}{2ac + 3b}$$

IV. La formula che determina il centro di pressione di una figura simmetrica, presa h per la profondità dell'origine delle coordinate al di sotto del livello, ed α l'angolo che fa coll'orizzonte il piano, e β l'angolo delle coordinate, è

$$X = \frac{\int (h + x \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta)\, x y\, dx}{\int (h + x \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta)\, y\, dx}$$

Da questa formula si rileva che quando è $h = o$, cioè si ha la figura a fior d'acqua, rimane la situazione del centro indipendente dalla inclinazione del piano coll'orizzonte.

17. *Applicazione alla stabilità delle serre.* — Per sostenere ad una data altezza le acque in un recipiente, o per impedire che le acque si sbassino in un fiume oltre ad un certo limite si praticano dei muri ai quali si dà il nome di serra. Il loro equilibrio richiede che la pressione non le smuova nè facendole scorrere con moto progressivo nè rovesciandole con moto rotatorio attorno al perimetro della base: Supposto che la serra sia piana verticale, e per tutta l'altezza della medesima grossezza s, la pressione contro di essa si calcola con

$$1000^k . l . a . \tfrac{1}{2} a$$

essendo l la larghezza della serra, a la sua altezza a cui giunge l'acqua. Sarà fP la resistenza che la serra oppone a scorrere, rappresentando con P il peso della serra, il quale nel fabbricato (chiamata a' l'altezza totale della serra) può valutarsi $2000.^k\, la's$, e rappresentando con f il coefficente d'attrito tra il muramento, che suol valutarsi $\tfrac{1}{3}$. Onde dovrà essere

$$1000^k . l . a . \tfrac{1}{2} a < \tfrac{1}{3} . 2000^k . l . a' . s$$

$$s > \frac{3 . a^2}{4 . a'}$$

cioè nella posizione più svantaggiosa la grossezza della serra murata deve superare $\tfrac{3}{4}$ dell'altezza massima a cui posson giungere le acque.

Per l'altra condizione d'equilibrio si avrà che il momento di resistenza della serra è P. $\tfrac{1}{2} s$. Otterremo quello della pressione moltiplicando la distanza del centro di pressione dalla base, che è $\tfrac{1}{3} a$, per la pressione sopra valutata, onde sarà

$$2000^k . l . a' \tfrac{1}{2} s^2 > 1000^k . l . \tfrac{1}{6} a^3$$

$$s > \sqrt{\frac{a^3}{6 a'}}$$

cioè nel caso più pericoloso la grossezza della serra dovrà superare 0,42 dell'altezza massima cui può giungere l'acqua. Noi vediam dunque che nelle serre, e negli argini interessa assicurarsi principalmente dell'equilibrio al moto progressivo. L'esperienza insegna che le serre devono avere almeno un metro di grossezza nel muramento alla rinfusa per non permettere che l'acqua vi infiltri. Ancora qui, come ho detto parlando degli argini, torno ad avvertire che molto vantaggio si ottiene dal dare alla serra una scarpa per la parte interna, giacchè impedisce il moto progressivo anche il gravitare dell'acqua sulla scarpa stessa.

Corpi immersi nei liquidi e galleggianti

18. *Pressioni sovra i solidi immersi nei liquidi.* — Un solido collocato in un vase ove sia un liquido fa sollevare il suo livello come se fosse aggiunta una massa liquida di egual volume del solido e per con-

seguenza esso farà in egual modo aumentare le pressioni contro le pareti del vaso e nell' interno del liquido. Onde accade che se mentre un' individuo porta un secchio con acqua, un'altro immerge un braccio entro quell'acqua, egli fa risentire al primo un'aumento di peso.

Viceversa il liquido agisce contro il solido premendolo, come premerebbe una massa liquida che fosse al suo posto. Un corpo immerso è dunque compresso per tutti i lati dal liquido che lo attornia: che se questo è sollecitato dalla sola forza di gravità cresce la compressione tanto più quanto più a fondo è immerso e quanto più è denso il liquido. E poichè queste teorie han luogo anche pei fluidi elastici, verificandosi anche su di essi il principio d' eguaglianza di pressione, potrà dirsi che tutti gli oggetti che sono sulla terra, o nell'aria o nelle acque, o anche nelle viscere della terra, sono sommamente premuti per ogni lato.

19. *Principio d'Archimede, o spinta verticale.* — Conviene che ora determiniamo la resultante di queste pressioni. Sia un solido (Tav. 1 fig. 10) immerso MQPN in un liquido grave, considerato come decomposto in tanti filamenti o linee orizzontali e tutte parallele fra loro, si vede chiaramente che una linea PN sarà tanto premuta orizzontalmente nella sua stessa direzione dalla particella liquida P che è ad una estremità, quanto lo è in contrario senso da quella N che rimane all'altra sua estremità, perchè le particelle che sono in un medesimo strato orizzontale premono tutte egualmente; cosicchè queste opposte pressioni scambievolmente si distruggono. Il medesimo accadendo per tutte le linee purchè s'intendano tirate orizzontalmente, può stabilirsi che tutte le pressioni orizzontali che fa il liquido circostante sul solido scambievolmente si distruggono, nè producono alcun effetto, se il corpo non è tale da poter cambiare figura sottoposto a pressioni opposte e parallele. Il medesimo non accade per le pressioni verticali perchè intendendo fatta la decomposizione del corpo in linee verticali, ed una essendo PQ, la particella liquida che è in P premerà solo da alto in basso col peso della colonna liquida PR se in AB è il livello, mentre quella che è in Q preme di basso in alto quanto tutte le altre che sono nel suo piano orizzontale, e perciò col peso di una colonna liquida alta quanto QR, e per conseguenza queste due pressioni non si distruggeranno che in parte e rimarrà attiva la differenza delle due pressioni, eguale al peso di una colonna liquida alta quanto la linea PQ. Lo stesso potendosi ripetere per tutte le altre linee verticali, distrutte tutte le pressioni di alto in basso, rimarranno attive tante pressioni di basso in alto, rappresentate dai pesi di filamenti liquidi verticali di eguali dimensioni di quelli che compongono il corpo. E poichè questi filamenti liquidi comporrebbero un volume liquido eguale a quello del corpo, potrà dirsi che rimane il solido immerso soltanto spinto di basso in alto con una forza eguale al peso del volume fluido discacciato. Questa che dicesi spinta verticale diminuisce d'altrettanto il peso del corpo.

Esperienza. — Una bilancia sensibilissima CD, che adoprata come io dirò chiamasi idrostatica, abbia ai suoi piattelli due ganci, e sia sollevata in modo da potervi collocare sotto dei vasi. Si appenda al gancio di un piattello un cilindro F di metal-

lo vuoto, e sotto a questo parimente un cilindro PM di metallo tutto solido e di tale dimensione che possa riempiere precisamente il vacuo dell'altro cilindro superiore. Si collochi nell'altro piattello un contrappeso adattato a fare equilibrio. Si sottoponga al primo piattello un vaso di cristallo ed in questo si affonda tant' acqua quanta conviene perchè ne resti immerso totalmente il cilindro tutto solido. La bilancia adesso non sarà più in equilibrio e dimostrerà diminuito il peso del cilindro immerso. Si riempia di acqua il vacuo del primo cilindro l' equilibrio sarà nella bilancia ristabilito. Dunque il cilindro immerso aveva perduto di peso quanto è il peso del volume fluido discacciato.

20. *Determinazione del volume di un corpo per mezzo della spinta verticale.* — Dal peso che perde il corpo immerso nell'acqua può ottenersi il suo volume riguardando il numero dei grammi contenuti nel peso come esprimente altrettanti centimetri cubici. Si vuole intendere però che si adopri acqua distillata e al maximum di densità, perchè allora ogni centimetro cubico di questa pesa un grammo. Altrimenti si commetterebbe l'errore che può portare la differente gravità specifica dell'acqua. Questo in pratica molte volte è trascurabile, e quando si volesse tenere a calcolo si farà uso della tavola (I. *Int.* 49) delle gravità specifiche dell'acqua a differenti temperature; cioè supposto che si usi acqua di pioggia ben chiara la quale è in purezza molto simile all'acqua distillata, e veduto quale è la temperatura dell'acqua nell'atto dell'esperienza dalla tavola si prenderà la densità corrispondente dell'acqua, e per quella si dividerà la spinta verticale ottenuta dall'esperienza. Che se non si abbiano contrappesi in grammi è chiaro che lo stesso calcolo può farsi qualunque sia l'unità di peso purchè dopo si riduca il peso trovato in grammi.

21. *Differente spinta che soffrono i corpi di egual peso e di differente gravità specifica.* — Quando il corpo immerso sotto un medesimo peso ha maggior volume o minor densità tanto più perde di peso. E ciò non solamente accaderà stando i corpi immersi nell'acqua ma anche quando sono immersi nell'aria e per conseguenza quei corpi di diversa densità che sembrano nell'aria pesandoli di egual peso, non lo saranno se si pesano nel vuoto.

Esperienza. — Ad uno dei piattelli della bilancia idrostatica si appenda un pezzo d' ottone, all' altro un pezzo di stagno, ambedue di egual peso nell' aria. Si pongano sotto ai piattelli due vasi con tant' acqua che vi rimangano immersi l'ottone, e lo stagno; in tal posizione lo stagno comparirà di minor peso dell' ottone.

22. *Determinare la gravità specifica dei solidi per mezzo della bilancia idrostatica.* — È ben facile applicare il precedente resultato per le ricerche delle gravità specifiche nei solidi. In fatti avremo

$$g = \frac{P}{V} = \frac{P}{P'} \quad \text{e}$$

(*Int.* 64) ora determinato il peso P del corpo nell'aria, il peso P' di un egual volume d' acqua è la diminuzione di peso che soffre un corpo allorquando si immerge nell'acqua; e chiamato P'' il peso che ha il corpo immerso, sarà $P' = P - P''$ e perciò

$$g = \frac{P}{P - P''}$$

cioè per trovare la gravità specifica

di un corpo solido devesi prendere il peso del corpo nell' aria, e quello nell'acqua, e dividere per la differenza di questi due pesi il primo di essi. Se il solido per la sua leggerezza non potesse pesarsi sott'acqua, bisognerà unirvi altro corpo di noto peso specifico, e tale che il composto possa immergersi intieramente conoscendo la perdita di peso che fa il composto e la perdita di peso che appartiene al solido aggiunto: la differenza fra questi sarà la spinta verticale appartenente al solido proposto, la quale deve mettersi per denominatore nella formula della gravità specifica.

23. *Problema della corona.*— Generalmente dati i pesi assoluti e specifici di due corpi può aversi il peso specifico del composto che dalla loro riunione resulta e viceversa. Con questa dottrina può sapersi se dentro una corona che ha la superficie d'oro sia racchiuso dell' argento, e quanto, senza guastare il lavoro, come il Re Jerone domandava ad Archimede. Siano p, p' i pesi assoluti, g, g' le gravità specifiche. G la gravità specifica del misto. Il peso assoluto del misto sarà $p + p'$ e il suo volume sarà eguale alla somma dei volumi componenti cioè

$$= \frac{p}{g} + \frac{p'}{g'} \quad \text{e} \quad G = \frac{p + p'}{\frac{p}{g} + \frac{p'}{g'}}$$

Che se ora nel problema della corona conosceremo G, g, g', $p + p' = P$ e sarà incognito p avremo

$$G = \frac{P}{\frac{p}{g} + \frac{P - p}{g'}}$$

ovvero

$$\frac{p}{g} + \frac{P-p}{g'} = \frac{P}{G}; \quad pg' + Pg - pg = \frac{Pgg'}{G}$$

e finalmente

$$p = \frac{Pg\,(g' - G)}{G\,(g' - g)}$$

24. *Determinare la gravità specifica dei liquidi per mezzo della bilancia idrostatica.* — Lo stesso corpo in liquidi differenti pesa diversamente, e più pesa nel liquido più leggero. Questo teorema può servire a determinare un modo per avere le gravità specifiche dei liquidi. Converrà pesare un corpo nell'aria poi nell' acqua, ed infine nel liquido del quale si vuol conoscere la gravità specifica, e detti P, P', P'' questi, avremo

$$g = \frac{P - P''}{P - P'}$$

cioè si otterrà la gravità specifica del liquido proposto col dividere la differenza del primo e dell' ultimo peso, per la differenza dei due primi.

Esperienza. — Ai piattelli della bilancia si appendino due palle d' avorio di egual peso nell' aria la bilancia starà in equilibrio, ed anche quando ambedue si facessero immergere nell' acqua. Ma se nell' acqua di un vaso si pone del sale subito sarà turbato l' equilibrio, e peserà meno la palla che immerge nell'acqua salata per esser questo un liquido più denso. Si voglia ora determinare la gravità specifica di quest' acqua salata. Si determini il peso della palla d' avorio posandola sovra un piatto della bilancia, e ponendo sull' altro il conveniente contrappeso marcato P. Quindi si appenda la stessa palla sotto il piatto della bilancia facendola immergere nell' acqua pura contenuta in un vaso sottoposto, e se ne determini il peso P'' ponendo nell' altro piatto l' adattato contrappeso. Si levi il vaso coll' acqua pura, e si ponga in suo luogo il vaso che contiene l' acqua salata, ed in questa si faccia immergere la palla d' avorio dopo averla asciugata dall' acqua pura, ed in questa situazione si determini il suo peso P'''.

Collocando nella formula di g i valori numerici trovati, e fatto il calcolo si troverà che g è alquanto più grande dell' unità, cioè la gravità specifica dell'acqua salata è più grande di quella dell' acqua pura. Siccome tanto nella determinazione delle gravità specifiche de' liquidi quanto in quelle de' solidi si prende per unità quella dell' acqua che si adopra, conviene accennare a qual temperatura era questa nell'atto dell' esperimento.

Galleggianti ed areometri.

25. *Galleggianti.* — Finchè il corpo immerso abbia una gravità maggiore del liquido li rimane anche dopo l' immersione un certo peso, quando sia di gravità specifica eguale al liquido non li rimane alcun peso, quando l'abbia minore non serve il suo peso a distruggere la spinta verticale. Quindi si muoverà in basso nel liquido il corpo, o vi starà in equilibrio, o si muoverà in alto e galleggierà, secondochè la sua gravità specifica è maggiore eguale o minore di quella del liquido.

Esperienza. — In un vaso (Tav. I. fig. 11) fatto a guisa di stretto cilindro di cristallo riempito d'acqua si ponga una di quelle figurine di smalto che diconsi diavoletti di Cartesio, la quale appena galleggi. Per far ciò si riscalda un poco la figuretta, ed allora l' aria che è nel vacuo del suo corpo esce per un foro che suol essere nella parte posteriore della figura: si mette la figuretta nell'acqua: l'aria dilatata nel suo corpo si condensa e vi entra dell'acqua: a forza di tentativi si procura che ne entri tanta che acquisti la figuretta poco meno del peso specifico dell' acqua. Chiusa poi col palmo della mano o con una membrana di vessica la parte superiore del vaso, se si aggrava la mano, o si preme un poco la vessica, va il diavoletto al fondo del vaso. E appena si rallenta la mano torna in alto, e così fa quante volte si aggrava o rallenta la mano, e pare che balli se con destrezza sollecitamente si rallenti e riprema la mano; molto più se il diavoletto ha la coda un poco torta. Talvolta starà fermo a mezz' acqua, se ben si regola la pressione. La ragione del fenomeno è che quando si aggrava la mano viene compressa l' aria che è dentro alla figura e nuova acqua vi entra cosicchè cresce il suo peso in modo che diviene più pesante dell'acqua, e và al fondo, Quando si rallenta la mano al contrario tornando a dilatarsi per la sua elasticità l' aria che è nella figurina ne caccia l' acqua che vi era entrata, e torna a farsi la figura più leggera dell'acqua.

In questo vaso posta la figura che leggermente galleggi a stagione calda, si vedrà andare in basso a stagion più fredda per la condensazione dell' aria: onde con questo metodo posson formarsi degli eleganti apparati termometrici.

26. *Equilibrio nei galleggianti.* — Le condizioni che han da verificarsi per l' equilibrio del galleggiante sono le seguenti

I. Il corpo galleggiante è sempre più leggero di un volume liquido eguale al suo. Quindi i corpi che galleggiano in un liquido, galleggeranno anche in tutti i liquidi più leggeri di questo, ma non è obbligo che galleggino nei più pesanti seppure anche per questi non si verifichi l' accennata condizione. Eccezione fanno i corpi di piccolo peso in confronto della viscosità del liquido, perchè quando quello non vince

la resistenza della viscosità anche un corpo che abbia peso specifico maggiore del liquido può rimanere galleggiante. Così possono porsi sopra l'acqua degli aghi, e delle laminette di stagnola. Quando però tali corpi fossero con un'urto affondati non potrebbero ritornare a galla, come accade in quelli che hanno gravità specifica minore del liquido.

II. Un corpo che galleggi scaccierà sempre un peso fluido eguale al peso proprio. Onde qualunque posizione prenda nel liquido emergerà sempre della stessa quantità. Mutato il liquido la quantità d'emersione sarà differente. Così una barca più emerge quanto meno è carica, e diversamente ha da caricarsi secondo che si vuol porre nell'acqua dolce di un fiume, o nell'acqua salata del mare. Regolando il carico per l'acqua dolce potrà dirsi V il volume in metri cubi della sua parte immersa, il peso dell'acqua sloggiata sarà $V.\ 1000^k$. Se P, P′ indicano il peso della barca, e del suo carico, si avrà $V.\ 1000^k = P + P'$ e perciò il peso del carico da trasportarsi dovrà esser minore di $P' = V'.\ 1000^k - P$, ritenuto per V′ il volume totale della barca.

III. Acciocchè il galleggiante non concepisca moto rotatorio conviene che le due forze che lo sollecitano agiscano sulla medesima verticale. Una di esse è applicata al centro di gravità del fluido spostato, l'altra al centro di gravità del galleggiante; onde questi due centri dovranno rimanere sulla medesima verticale. Può accadere che il primo sia più alto, o più basso del secondo perchè il centro del galleggiante non è necessario che coincida col centro di figura, e da questa disposizione relativa dei due centri si deduce la stabilità che avrà il galleggiante.

27. *Stabilità nei galleggianti.* — Essendo in un galleggiante turbato l'equilibrio, potrà esso con più o meno forza riporsi nella primiera situazione, e da ciò rilevasi la sua stabilità. Sia il galleggiante MNM′ (Tav. I. fig. 12) equilibrato mentre il livello giunge in AB, cioè con la linea AB di immersione, abbia il suo centro di gravità in G e rimanga in *g* il centro di gravità del volume fluido che in questa situazione viene discacciato. Per una forza estranea si inclini il galleggiante, e sia A′B′ la sua linea d'immersione, e stando sempre nello stesso punto G il suo centro di gravità, passi in *g′* o in *g″* il centro di gravità del volume liquido discacciato. Manifestamente si scorge che se questo centro è passato in *g′* la spinta verticale tenderà a rovesciare di più il galleggiante perchè agendo essa nella direzione *g′s′* lo fa rotare attorno a G sollevando il punto B′ ed abbassando A′. Se poi il centro di gravità del fluido è in *g″* allora la rotazione prodotta dalla spinta verticale si farà in senso opposto e perciò il galleggiante tenderà a rimettersi nella primiera posizione d'equilibrio. Dunque

I. Il punto O ove si intersecano le due verticali sulle quali agiscono le spinte in due diverse posizioni che prende il galleggiante, determina la stabilità di esso coll'essere più alto o più basso del centro G. Questo punto O in architettura idraulica è chiamato *metacentro*.

II. Tutte le linee di immersione che può prendere un battello galleggiante nell'oscillare colle successive loro intersezioni determinano una curva *abc*, la quale potremo riguardare come collegata invariabilmente al battello. Se a questa curva si conducono due normali infini-

tamente prossime fra di loro, il luogo ove s'intersecano sarà il metacentro, o il centro di rotazione della linea di immersione. Ora si sa che l'equilibrio è stabile o no, secondochè per un minimissimo cangiamento di posizione il centro di gravità del sistema si eleva o si abbassa; lo che accade secondochè sulla verticale primitiva d'equilibrio a N il centro di gravità del battello è al di sotto o al di sopra del metacentro.

III. Posto che il centro G di gravità del galleggiante sia più basso del centro g di gravità del fluido discacciato necessariamente, il metacentro è più alto del primo centro G, e perciò si ha stabilità. Potrà aversi per altro stabilità anche quando sia il centro di gravità g del fluido più basso di quello G del galleggiante, se il metacentro è al di sopra di questo. Quando il metacentro coincida con il centro G di gravità del galleggiante si avrà l'equilibrio neutro, cioè il galleggiante sarà equilibrato in più posizioni. Siccome il metacentro può variare nelle diverse posizioni che si danno al galleggiante, così anche la stabilità sarà diversa.

IV. Partendosi dal principio che la porzione ANB del galleggiante immerso in una posizione è eguale a quella A'NB' che si immerge nelle altre posizioni, per una figura simmetrica attorno all'asse a N si dimostra aversi stabilità ogni qual volta il quoziente del cubo della linea AB di immersione diviso per 12. è maggiore del prodotto dell'area ANB immersa per la quantità h di cui il centro di gravità del galleggiante è più elevato del centro di gravità del fluido discacciato; cioè quando è $\frac{1}{12}\overline{AB}^3 > ANB \times h$. Di qui si deduce che per la stabilità deve essere

$$h < \frac{\overline{AB}^3}{12 . ANB}$$

Facciamo un'applicazione di questa formula; si voglia sapere, se un cubo omogeneo che stà immerso nell'acqua fino ai $^4/_5$ della sua altezza potrà avervi stabilità. Avremo

$h = {}^1/_{10}$ AB ed ANB $= {}^4/_5\ \overline{AB}^2$,

e per la formula avendosi $^1/_{10} < {}^5/_{48}$ come è in realtà si accenna che si ha stabilità.

28. *Areometro-bilancia.* — Consiste questo strumento in un cilindro di metallo AB (Tav. I. fig. 13) cavo nell'interno, e leggero, con un piccolo secchio in fondo assai pesante, e sormontato alla parte superiore da un sottil filo metallico che porta un piattello. Il cilindro essendo nell'interno vuoto e contrappesato alla parte inferiore emerge molto quando si pone sull'acqua e vi sta in direzione verticale con molta stabilità. Per farlo immergere fino ad un contrassegno che è nel filo metallico si colloca sul piattello, un altro piattello contenente dei pesi di misura conosciuta.

Si adopra lo strumento come bilancia per avere il peso dei piccoli corpi: allora si colloca il corpo da pesarsi nel piattello e si aggiungono ivi anche i pesetti necessari per ottenere l'immersione. La differenza che passa tra i pesi posti nel piattello quando vi è l'oggetto da pesarsi e quando non vi è, costituisce il peso di quello.

Si adopra per avere le gravità specifiche dei solidi collocando prima il solido nel vassoio e determinandone il suo peso collocandolo nel secchio essendo l'areometro nell'acqua e determinando la perdita di peso che in questo caso soffre e dividendo il primo peso per questa per-

dita perchè si divide così il peso del corpo per un egual peso di acqua.

Affinchè l'immersione possa aversi eguale nei differenti liquidi è chiaro che devono occorrere nel piattello pesi differenti e tanto più grandi quanto i liquidi sono più pesanti. La gravità specifica di un liquido si otterrà col dividere il peso del volume del liquido discacciato dall'areometro per il peso di un pari volume di acqua, cioè col dividere il peso dell'areometro aumentato del pesetto aggiunto quando l'immersione si è fatta nel liquido proposto per il peso dell'areometro aumentato del peso aggiunto per ottenere l'immersione nell'acqua.

29. *Areometro ad immersione variabile.* — Questo areometro serve a dare la gravità specifica dei liquidi, ed essendo di un peso costante tanto più s'immerge quanto il liquido è più leggero. Suole avere differenti forme; ordinariamente è un cilindro C ben calibrato di cristallo con divisioni eguali nella sua lunghezza ed ha in fondo un globo con un poco di mercurio in altro piccolo globetto sottoposto. Questo strumento ha preso diversi nomi secondo gli usi che se ne fa. In qualunque liquido si immerga lo strumento quando è in equilibro deve sempre discacciarne un egual peso di liquido, e perciò un volume reciprocamente proporzionale alla sua gravità specifica, quindi se l'areometro fosse tutto cilindrico, l'altezza dell'areometro immerso stando come i volumi immersi, staranno fra loro reciprocamente alle gravità specifiche, e per conseguenza si avrà la gravità specifica di un liquido se dividansi i gradi dell'areometro che rimangono immersi nell'acqua per quelli che rimangono immersi nel liquido proposto. In commercio si riscontrano coll'areometro i gradi di rettificazione degli spiriti, quelli di concentrazione degli acidi e quelli di saturazione delle soluzioni saline e correspettivamente l'areometro ha una diversa scala, e prende il nome di *pesa-spiriti*, *pesa-acidi*, *pesa-sali* ec. Il Beaumé ha stabilito una regola per segnare i gradi e rendere comparabili questi strumenti. Si pone nell'acqua pura l'areometro C, e si segna zero al punto ove giunge coll'immersione poi si mescolano 85 parti d'acqua con 15 di sale comune e si nota quindici al punto ove si immerge in questa soluzione; si divide l'intervallo in 15 parti eguali, e si prosegue la divisione di questa scala discendente con eguale ampiezza di gradi anche al disotto del 15. L'areometro con questa scala serve per gli acidi e per le soluzioni saline. Onde D serva per gli spiriti vi si fa una divisione ascendente con tale ampiezza nei gradi che stando la divisione 10 all'acqua pura abbia il zero ove lo strumento sta immerso in 10 parti di sale, e 90 di acqua.

A fare intendere di quanto interesse siano gli areometri dovrei rammentare come prema al naturalista riconoscere le gravità specifiche per distinguere i corpi simili di forma e di colore; al Gioielliere per assicurarsi se le sostanze che gli si presentano sono pietre preziose, al Chimico e al Medico per mettersi in guardia contro la frode dei contraffattori; ed in generale al commercio per dare il prezzo conveniente agli oggetti dopo averne costatata la loro natura. Dice Dupin che i Francesi si distinsero nel fare le acqueviti perchè usavano il pesa-liquori, e gli Spagnoli non poterono gareggiare con essi abbenchè i lor liquo-

ri fossero più atti, perchè si contentavano di lasciar cadere da una certa altezza una goccia d'olio sulla loro acquavite e notavano quanto vi si affondava allorchè volevano costatarne il grado di bontà. Ciò recò prima della rivoluzione molto interesse alla nazione Francese, cioè di circa quattro milioni di franchi l'anno, ma dopo introdottosi in Spagna l'uso dell'areometro mancò ai Francesi la detta superiorità nel fabbricare le acqueviti. Si vede quindi come i più semplici strumenti fisici possono avere conseguenze importanti per il commercio e per la ricchezza de' popoli. Gli studiosi potranno notare nelle opere dei chimici come Guyton, Beaumé ed altri abbiano modificato l'areometro per ridurlo atto all'esame dei sali, degli acidi, nè trascureranno di esaminare il lavoro non meno interessante per le scienze e per il commercio fatto sull'areometro dal sig. Deleziane (*Jour. de Phys.* T. 94 pag. 204) e l'istruzione per l'uso dell'areometro centesimale pubblicata dal Gay Lussac nel 1824.

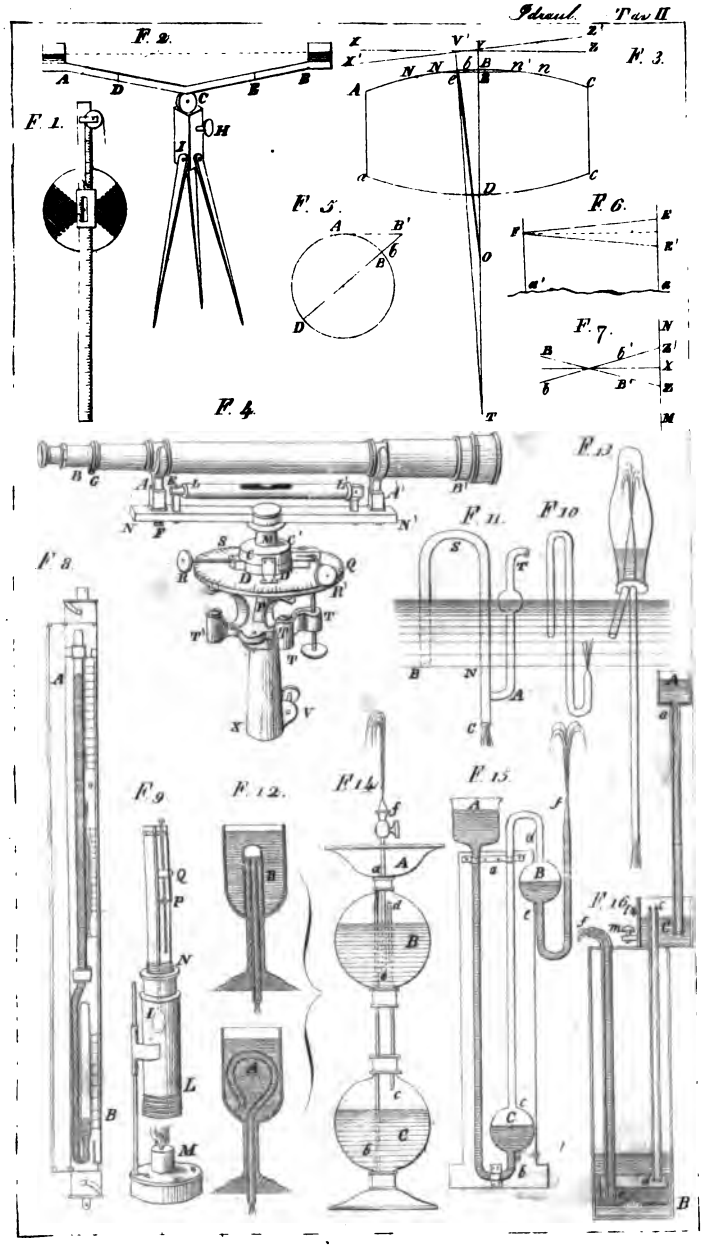
CAPITOLO II.

Dei livelli, e della livellazione, e di altri apparati idrostatici.

30. *Superficie della livellazione* — L'arte di livellare insegna a determinare quanto i diversi punti dell'estensione livellata sono al di sopra o al di sotto di una determinata superficie orizzontale che è quella della livellazione. È arte di somma precisione, ed interessantissima per tutti gli ingegneri, massimamente per gli idraulici. In essa perciò non solo interessa ben conoscere lo strumento che si adopra, e chiamasi *livello*, quanto sapere le cagioni di errore che si incontrano nell'operare.

La superficie alla quale ci referiamo, o è quella stessa delle acque stagnanti, o è ad essa parallela, ed è detta di livello vero. Adunque il livello vero è un'arco descritto sù d'una superficie sferica concentrica alla terra. Quando nel livellare dirigiamo le visuali orizzontali si stabilisce la linea di livello apparente la quale è tutt'al più tangente al rammentato arco. Può la differenza di questi due livelli essere trascurabile, ma in seguito insegneremo come dal secondo si deduca il primo.

31. *Scopo, o asta per la livellazione.* — Diretta orizzontalmente la visuale, trattasi di sapere quanto rimane più alta di un certo punto che è sulla terra. Su questo si alza verticalmente un'asta (Tav. II. fig. 1) che porta verso la sua sommità una piastra rotonda metallica tinta a spicchi alternati rossi e bianchi. Il centro di essa è il punto che si fa combinare colla visuale alzandola o abbassandola. Si alza e si abbassa col mezzo di una cordicella la quale legata all'anello della piastra passa sovra una rotella che è in cima all'asta. L'anello è aperto alla parte posteriore e con un nonio dà i decimi delle divisioni segnate lungo l'asta. Questa si compone di più pezzi onde facilitarne il trasporto, e anche l'uso, abbisognando talvolta alta e talvolta corta. L'ingegnere ordina al suo aiuto che collochi lo scopo, che lo alzi o lo abbassi finchè l'incontro degli spicchi colorati non coincide colla sua visuale diretta per il livello, e li ordina poi che legga a quale altezza vien così portato il centro dello scopo.


Idraul. Tav II
F. 1.
F. 2.
F. 3.
F. 4.
F. 5.
F. 6.
F. 7.
F. 8.
F. 9.
F. 10
F. 11.
F. 12.
F. 13
F. 14
F. 15.
F. 16.

32. *Livello ad acqua*. — In ogni livello si ha la direzione di una brevissima linea direttrice, la quale serve a determinare l'andamento di una visuale molto estesa. In conseguenza di ciò i difetti nella direttrice sebben piccolissimi si aumentano nell'osservazione in ragion della distanza dell'oggetto cui si mira. Il livello a acqua o a boccette consiste in un tubo (Tav. II. fig. 2) AB che ha agli estremi unite ad angolo retto due eguali boccette F, G, o tubi di cristallo con pareti di uniforme grossezza. Il liquido, o acqua colorata con zafferano posto nell'uno si livella (5) nell'altro comunicandovi per mezzo del tubo AB. Questo suole essere una canna d'ottone grossa circa due centimetri, e lunga settanta, da spezzarsi a fregamento in D ed in E per il più facile trasporto. In mezzo vi è unita una cerniera C, la quale mediante vite tanto si può pressare da fermarla. L'asse che rimane sotto a questa cerniera si infila in un foro che rimane al centro del piede I, ed ivi gira l'istrumento finchè non vi è fissato dalla vite H. Si traguarda pei tubi di cristallo facendo passare la visuale per le due superfici dell'acqua, che per la capillarità si mostrano come un nero filetto. Questo strumento non abbisogna di veruna rettificazione perchè il liquido da per se si pone in livello, che neppure la capillarità (8) può turbare essendo eguali i due tubi, egualmente puliti ec. È però sottoposto a varie inesattezze per prendervi la mira con precisione lungo le superfici del liquido, e per le ottiche illusioni che vi si hanno: Inoltre non potendo esso comportare un canocchiale conviene proscriverne l'uso nelle battute maggiori di 20 metri, e nelle livellazioni composte.

32. *Livelli a galleggiante, a pendolo, a filo a piombo, e a bolla d'aria*. — Tutti questi livelli sogliono esser muniti di cannocchiale, che in tali strumenti serve a due oggetti, 1.° a determinare col suo asse la direttrice, 2.° a far vedere lo scopo a molta distanza.

Il livello galleggiante si compone di una scatola nella quale si conserva una certa quantità di mercurio, e di un canocchiale lungo circa sei centimetri fissato sopra il piano di una girella di legno che ha il diametro un poco più piccolo del vuoto della scatola, si colloca la girella galleggiante sul mercurio della scatola, ed il canocchiale vi è sopra equilibrato in modo che il suo asse rimanendo parallelo al mercurio è orizzontale. Questo strumento imaginato e costruito dal chiarissimo sig. Cav. Prof. Gio. Batt. Amici ha molti vantaggi, e principalmente per le sue piccole dimensioni, ma vuole essere usato con assai accuratezza.

Il livello a pendolo può avere differente costruzione, e pregiabile è quello d'Ugenio. Questo come il pendolo munito in basso di contrappeso, e attaccato ad un punto fisso prende una posizione verticale, e pone in situazione orizzontale l'asse di un canocchiale che li è fissato a traverso.

Nel livello a filo a piombo si ha tal costruzione che l'asse del canocchiale è orizzontale allorchè il filo corrisponde ad un segno fatto in un pezzo della sua montatura. Fermato in questa posizione è lo strumento in stato di poter servire. L'esattezza però richiede che il filo sia sottilissimo e lungo giacchè la non perfetta coincidenza di esso col segno porterebbe gran difetto nella direttrice.

Preferibile a tutti è il livello a bol-

la d'aria. La bolla consiste in un tubo di cristallo ripieno di alcool ad eccezione di piccolissima porzione ove rimane l'aria. Chiuso il tubo l'aria si tien sempre per la maggior sua leggerezza nella parte più sollevata. Onde si giudica che il tubo sia col suo asse orizzontale quando la bolla non si muove dal mezzo di esso. Alla bolla si unisce un traguardo, e il più delle volte a cannocchiale acromatico, ed essendo la direttrice di questo parallela all'asse del cilindro a bolla d'aria ne viene che quando la bolla è in mezzo anche la direttrice è orizzontale.

33. *Costruzione e squisitezza della bolla.* — Una buona bolla deve per la minima inclinazione che si faccia discostarsi l'aria dal mezzo gradatamente verso l'estremo sollevato e fermarsi. Quindi non può essere il tubo perfettamente cilindrico ma un poco rigonfiato nel mezzo (Tav. II. fig. 3) ABC, ed aDe sieno archi di cerchio che determinano la interna figura del tubo a bolla. Il centro di quel cerchio che è alla parte superiore, la quale solo ora consideriamo, rimane in O. Questo tubo rinchiude un liquido la cui superficie di livello viene determinata dalla curva NEn, e lascia in conseguenza nel vaso lo spazio NBnEN occupato dall'aria. La linea VOT è una verticale che concorre al centro terrestre in T, e che passa per B mezzo dell'arco Nn; XVZ è una retta di posizione fissa rapporto al raggio BO, e quindi anche rapporto al vaso. La curva NEn (supposto che non vi sia l'effetto della capillarità) per l'azione della gravità sarà un arco che ha il centro in T. Pongasi il raggio On=r, il raggio Tn=R, e l'arco Bb=a. Nella situazione in cui si suppone il vaso la verticale VT si confonde col raggio BO; ma se si fa un poco cangiare la situazione del vaso il raggio BO si disporrà in bO e farà con la verticale eT un angolo OeT che noi supporremo 1″, e che si potrà prendere come eguale all'angolo ObT essendo be quantità trascurabile rapporto a bO. L'angolo XVT diventerà l'angolo X′V′T e varierà di una quantità eguale ad ObT perchè la retta fissa XZ si trasmuta nell'altra X′Z′, e deve sempre avere la stessa posizione rapporto al vaso. In fine prendendo N′N ed nn' eguali a Bb si avranno i punti N′,n' che nella nuova posizione del tubo rimpiazzano N,n per denotare l'incontro della superficie del fluido con la parete del tubo medesimo. Posto l'angolo BTb=α si avrà nel triangolo ObT l'angolo esterno BOb=1″+α e siccome gli angoli al centro che hanno archi eguali stanno in ragione inversa dei loro raggi avremo

$$1''+\alpha : \alpha :: bT : bO :: R : r$$

cioè

$$r = \frac{R\,\alpha}{1''+\alpha}$$

sostituendo agli angoli 1″ ed α gli archi che hanno il medesimo valore angolare e che hanno il raggio uguale all'unità, il prodotto Rα sarà uguale all'arco Ee pel quale si può prendere l'arco Bb; ed in quest'ipotesi 1″ = 0^m,00000308 si avrà

$$r = \frac{Bb}{0{,}00000308+\alpha} = \frac{Bb}{0{,}00000308}$$

trascurata nel denominatore la quantità α che è minimissima rapporto ad 1″. Suppongasi che la lunghezza Bb = NN = nn' sia di un millimetro si avrà BO ovvero

$$r = \frac{0{,}001}{0{,}00000308} = 324^m{,}7$$

Posto il raggio di questa grandezza l'inclinazione del vaso che farà variare di un minuto primo la posizione del raggio BO, o della linea XZ

farà percorrere a ciascuno dei punti N, n uno spazio di 60 millimetri lungo l'arco ABC. Può ritenersi essere un livello abbastanza esatto quando la sua bolla percorre $0,^{m}0338$ in un minuto d' inclinazione; avendo l'esperienza provato che in tal livello l' incertezza sul vero luogo della bolla non produce un errore più grande di un millimetro.

Il raggio della curvatura del tubo in cui la bolla percorre $0,^{m}0338$ in un minuto primo si ha facendo

$$r = \frac{0,0338}{0,000287} = 116^{m},36$$

Il filo a piombo che dasse eguale precisione dovrebbe dunque avere una lunghezza di metri 116, giacchè ponendo

$$\frac{2.\ 22.\ x}{360.\ 60.\ 7} = 0,0338$$

si ha $x = 116,36$

Onde resultando il filo a piombo incomodo enormemente per la sua lunghezza si comprende il vantaggio del livello a bolla d'aria su quello a pendolo, e a filo a piombo. Molto di tal vantaggio si perde se il tubo di vetro non è formato con la curva circolare; e se vi fossero irregolarità, quando il freddo o il caldo condensando o rarefacendo il liquido ingrandisce o diminuisce la bolla, essa non si estenderebbe uniformemente nei suoi due estremi, e la sua metà non servirebbe a mettere in posizione orizzontale il cannocchiale. Niente di meno s' impiegano spesso tubi tali quali sortono dalle vetraie, e si suole soltanto sceglierli fra i più netti e i più regolari. Si riempiono quasi affatto di spirito di vino e si esamina in qual lor porzione la bolla d'aria prende moto più uniforme e facile dal mezzo del tubo verso gli estremi. L' etere serve meglio dello spirito di vino, ma vuol essere ben rettificato, ed il tubo quanto ha più grande il diametro e la lunghezza tanto è più preciso, perchè può contenere una lunga bolla, e può diminuire l'effetto della capillarità.

La sensibilità della bolla si valuta dallo spazio che percorre lungo il tubo per inclinazioni piccolissime di esso. Molti artisti usano di assottigliare gli estremi del tubo e saldargli colla fiamma della lucerna, ma l'ammollimento che si produce nel vetro altera sensibilmente la regolarità della superficie interna del tubo. Quindi è meglio chiuderne gli estremi con due dischi di cristallo esattamente combacianti con l' orlo del cilindro, e coperti con una finissima membrana che si unisce al vetro con un mastice fatto con gomma elastica. La capillarità diminuendo al crescer della temperatura accade che se avvicinasi un corpo caldo lateralmente alla bolla sopra il tubo di cristallo questa si pone in moto avanzandosi verso il corpo riscaldato; e quando il tubo del livello non sia ben diafano basta a produrre il fenomeno anche il raggio solare che attraversa la parte meno diafana del tubo.

34. *Descrizione di un livello a bolla d' aria con canocchiale acromatico.* — Sopra il consueto piede a tre gambe si pone (Tav. II. fig. 4) fermato colla vite V l'incavo del cilindro X. Questo porta un piccolo e solido disco d'ottone il quale ha in T, due appendici che portano due viti, le quali son destinate a regolare l' orizzontalità del cerchio QSR. Altre due appendici T' vi sono opposte alle precedenti, che portano due molle, le quali cedendo all' azione delle viti, permettono che in soli due movimenti si ottenga la detta orizzontalità. Sorge sul rammentato disco il fulcro conico P il quale termina in una sfera incassata al centro del cerchio QSR;

per la parte di sotto, e li permette il movimento in ogni senso. Alla parte di sopra sul centro del cerchio QSR sorge un' asse M che sostiene il sopporto NN' della bolla LL' e del canocchiale BB'. L'asse M ha connesso il circoletto CC', e questo con una molla C' si connette all' altro concentrico DD' per modo che quando si gira il sopporto NN' con esso muovesi non solo l' asse M, ma anche i circoletti CC', DD'; lo che si fa per i grandi movimenti. Per i movimenti piccoli, cioè quando la visuale mandata per l' asse del canocchiale è molto prossima allo scopo, si preme la vite R, e con questa vien fissato il circoletto DD'; e l'altra vite R' serve per dare un moto lento al circoletto CC' e al canocchiale. A questo circoletto è connesso il nonio D' il quale a misura che gira il canocchiale percorre la divisione circolare che è attorno al cerchio QSR. Questa divisione, che serve per notare le reciproche direzioni delle successive battute di livellazione, è in 360 gradi, ed ha anche segnati i mezzi gradi: il nonio G ha 30 divisioni e perciò segna i minuti primi. Il tubo a bolla d'aria è rinchiuso in un cilindro di ottone che ha una apertura bipartita al suo mezzo per vedere la bolla e giudicare quando è in mezzo. Se il cerchio QSR sia orizzontale rimarrà la bolla in mezzo anche girando il cannocchiale per un intera rivoluzione. Se l'asse della bolla non fosse ben parallelo al cerchio QSR si rettifica col mezzo di una vite E. I due anelli A, A', che si aprono a cerniera per ricevere il canocchiale, devono aver pure il loro asse parallelo al cerchio QSR; e nel caso che occorra rettificazione si eseguisce colla vite F. Il canocchiale ha un pezzo di tubo metallico B ben calibrato, e tiene al suo mezzo in situazione ben normale all' asse una lente acromatica. Per servire alle diverse viste alla parte inferiore del tubo esiste una vite perpetua G, la quale ingranando in una riga dentata minutamente fa avanzare o ritirare la porzione di tubo di minor diametro che contiene le lenti oculari e la reticola dei fili. Questo tubo può girare attorno al suo asse per far conoscere se l'intersezione dei fili è sull' asse ottico del canocchiale. Nel tubo oculare se il canocchiale fa vedere gli oggetti rovesciati si ha una sola lente; se gli mostra in posizione naturale si hanno tre lenti oculari convesse di egual fuoco. La loro posizione è tale che la prima lente normale all' asse sta distante dal fuoco dell' obiettivo, ossia dall' intersezione dei fili quanto è il raggio della convessità della lente. La seconda lente sarà distante dalla precedente in modo che tra i vertici delle convessità opposte vi rimanga compreso esattamente il diametro della corrispondente sfericità. La terza lente parallela anche essa alle prime sarà collocata colla precedente distanza riguardo alla seconda. L' estremità del tubo oculare non ha aperto che un piccolo forellino corrispondente alla distanza focale della lente oculare, ove ha da collocarne l' occhio l' osservatore. Si può capovolgere il canocchiale cioè collocare l'obiettivo verso l' anello A anzichè verso A'. Finalmente dirò che tutta la costruzione del livello deve esser ben solida ed i movimenti de suoi pezzi esattamente determinati.

Livellazione.

35. *Livellazione ad acqua stagnante.* — Questo metodo è il più si-

curo, ma il più difficile ad eseguirsi perchè consiste nell'estender l'acqua stagnante sù tutta l'estensione da livellarsi. Si abbia da livellare il fondo di un canale pochissimo inclinato. Si eseguiranno due ripari di terra nei due punti estremi per rinchiudere fra questi l'acqua stagnante. Quindi preparata una pertica o asta divisa in metri o braccia colle loro suddivisioni si prenderà di tratto in tratto l'altezza dell'acqua sopra il fondo mentre con altra simile pertica si misurerà la distanza fra i luoghi scandagliati. Notando questa misura sopra linee corrispondenti nella carta si formerà il profilo, il quale sebbene giacerà tutto in un piano potrà rappresentare l'andamento del tratto livellato ancorchè questo rimanga in qualunque si voglia direzione tortuosa. Se poi il canale o luogo ove si vuol fare stagnare l'acqua fosse alquanto pendente cosicchè bisognasse troppo alzare il riparo inferiore per coprirlo tutto di acqua, si dividerà l'operazione in più parti costruendo più argini o ripari: si manderà l'acqua sulla prima parte scandagliando quella di 5 in 5 metri, o di 10^m in 10^m si farà il respettivo profilo sulla carta: dipoi si manderà l'acqua sulla seconda parte, ed anche per questa si farà un profilo, riducendo la misura scandagliata, al primo livello; Si farà lo stesso per le altre parti e così otterremo un profilo generale. Soglionsi con le acque stagnanti livellare anche i fondi delle valli, e i laghi; i quali se fossero molto grandi si segnano nella carta topografica le linee sulle quali si ha da portare lo scandaglio, e si deve eseguire la livellazione.

56. *Uso dei livelli.* — La livellazione è semplice se eseguiscesi con una sola stazione di livello, composta se ne occorrono più. Il livello senza canocchiale permette di fare le battute tra 15^m e 60^m, e quello col canocchiale di 150^m, e anche di 300^m. In ciascuna stazione insieme co' punti estremi si rilevano tutti quei punti intermedj che possono interessare. Perciò incontrando nel tratto misurato un'argine un fiume, una strada ec. si inalza sù ciascuno di questi punti lo scopo per determinarne la posizione nel profilo della livellazione.

Torna anche utile nella pratica allorchè si incontra un punto fisso sulla linea di livellazione, come una fabbrica o un'albero, tenerne conto facendovi un segno di riscontro nell'incontro della visuale. Si porrà il livello distante quanto si è detto dallo scopo che è al principio del tragitto da livellarsi, e si traguarderà verso di quello, e misurata l'altezza a cui vi giunge la visuale, si porterà lo scopo di egual tratto in avanti cioè sulla parte opposta del livello, e egualmente verso di questa posizione si dirigerà la visuale senza rimuovere il livello e solo girandolo. Quindi si rimuoverà e si percorrerà nel conveniente numero di battute il tratto da livellarsi scegliendo la via più breve, o la più comoda per dirigere le visuali. Può lo strumento esser collocato anche fuori della linea che si livella purchè esso giri in perfetto piano orizzontale, quando dopo aver diretta la visuale allo scopo che resta indietro si rivolge all'altro che è in avanti. Per regola generale però ponesi lo strumento sulla linea di cui si leva il profilo di livellazione, e fra mezzo ai due scopi facendo la battuta in avanti eguale alla battuta indietro.

57. *Appuntare, e stendere il profilo della livellazione.* — L'ingegnere per fare la matrice della livellazione, tira sulla carta una linea retta che prende per il livello, e su questa abbassa delle perpendicolari che indicano le diverse posizioni dello scopo. Ai fianchi di esse registra le altezze osservate cioè quelle indietro a destra, e quelle avanti a sinistra di ciascuna perpendicolare. Onde le perpendicolari che corrispondono ai punti estremi dalla livellazione, ed ai punti intermedj di una battuta non portano che un solo numero. Sulla linea orizzontale fra le diverse perpendicolari si scrive la distanza che separa sul terreno le corrispondenti posizioni dello scopo.

Volendo stendere il profilo della livellazione si sottrae l'altezza della battuta in avanti da quella in addietro, o viceversa dando al numero della differenza il segno positivo se la prima altezza è maggiore della seconda, e il segno negativo se segue l'opposto. Questi numeri si scrivono sulla matrice nelle caselle formate dalle due perpendicolari contigue cui corrispondono, e si usano per formare il disegno che ha da rappresentare la sezione verticale dell'andamento livellato. Tutti i numeri positivi indicheranno sollevamenti e i negativi abbassamenti; onde si riferiranno ad un' orizzontale prendendone il primo punto più discosto di quello che porta la somma degli abbassamenti da calcolarsi: si collegheranno con linee spezzate tutti i punti fissati da quelli inalzamenti, e abbassamenti: queste formeranno il domandato profilo, e la orizzontale scelta ne sarà il livello. Nel riportare le misure sul disegno soglionsi il più delle volte usare due scale di proporzione, una delle quali ha le unità di misura molto piccola, e serve per determinare le distanze degli scopi, l'altra ha dieci volte maggiore ed anche di più l'unità fondamentale, e serve per porre nel disegno le altezze osservate. Qui ho supposto già fatte nei numeri le correzioni del livello apparente le quali si praticheranno nel modo che saremo per dire in appresso.

58. *Determinare col calcolo la differenza di livello tra i due estremi del tratto livellato.* — Non occorre a tale oggetto distendere il profilo di livellazione. Si prende la somma delle altezze nelle battute indietro, e la somma delle altezze nelle battute in avanti; si sottrae dalla prima la seconda, ed il residuo sarà la domandata differenza di livello, indicando elevazione dell'estremo punto se è positiva, e depressione se è negativa. La ragione poi di ciò ben si comprende avvertendo che nella differenza tra le altezze notate in una battuta indietro e nella respettiva battuta in avanti si ha l'inalzamento o depressione del punto ove è collocato uno scopo rapporto a quello ove è il successivo; e la somma degli inalzamenti dei punti intermedi del terreno meno la somma degli abbassamenti deve dare la differenza di livello dei due punti estremi.

Dovendo trovare col mezzo del livello quanto la sommità di un monte che ha molto declivio è elevata per rapporto alla superficie orizzontale: si potranno fare le battute solamente in addietro, o volgendo verso il basso, e perciò solamente dovranno sommarsi le altezze che si saranno ritrovate nelle successive battute. Si fisserà il livello nei luoghi stessi ove si pongono gli scopi, e si sottrarrà dalle altezze trovate la distanza della direttrice dello strumen-

to da terra. Nel livellare il corso di un fiume, ordinariamente possono farsi le battute in avanti e addietro perchè la pendenza è piccola. Allora lo strumento si fissa poco distante dal fiume; e l'altezza degli scopi si conta sul pelo dell'acqua se di questo si cerca la livellazione, e sul luogo il più incavato nella sezione del fondo se vuolsi il profilo dell'alveo.

Correzione del livello, e rettificazione dello strumento che si usa nella livellazione.

39. *Correzione del livello.* — Abbiamo detto che il livello è quella linea che segue l'andamento dell'acqua stagnante e perciò è veramente un arco descritto sopra una superficie concentrica a quella della terra: mentre si chiama livello apparente quello determinato dalla visuale, il quale se non vi agisse la refrazione della luce sarebbe una tangente a quell'arco. Ora la tangente si allontana dall'arco, perciò in ogni battuta di un estensione assai grande conviene fare la correzione per la sfericità della terra. Suppongasi (Tav. II. fig. 5) AB′ sulla linea del livello apparente ad AB sulla linea di livello vero, e sia BDA un cerchio massimo della terra, avremo AB′ medio proporzionale tra BB′ e B′D. Ma è sempre AB un' arco molto piccolo, e BB′ trascurabile rapporto a DB, perciò

$$BB' = \frac{AB'^2}{BD}$$

Quindi si correggerà il difetto della sfericità della terra diminuendo l'altezza della visuale di una quantità eguale al quadrato della battuta diviso per il diametro della terra. Per mostrare come questa correzione possa trascurarsi per le piccole battute, osservo che anche quando si facesse la battuta di 1000 metri siccome il diam. della terra è 12732396^m la correzione sarà soli 0,078 metri.

Vi è un altra cagione d'errore, e consiste nella rifrazione prodotta dalla diversa densità dell'aria: il punto B′ che apparisce sull'orizzontale essendo più alto della vera orizzontale per la sfericità della terra rimane in una atmosfera meno densa di quella che è in A, e perciò i raggi della luce che scaglia, e che formano la visuale, s'incurvano verso il basso secondo la dottrina della rifrazione. Quindi quello che vediamo non è il punto B′ della tangente ma un punto *b* compreso tra B e B′. La distanza B′*b* non può essere determinata che dall'esperienza, la quale si può eseguire colla livellazione reciproca fatta con un livello ben rettificato.

Posti due scopi a molta distanza uno in (Tav. II. fig. 6.) *a*, l'altro in *a′* e traguardando col livello da E, la visuale determini il punto F, allora dal punto F si traguardi verso il primo scopo e si troverà la visuale sopra un altro punto E′ e non nel punto E come sarebbe dovuto accadere se la rifrazione non avesse fatto piegare in basso la visuale. La metà dello spazio EE′ è l'abbassamento che può produrre la rifrazione in una distanza *aa′* così da un gran numero di prove potrà aversi il valore medio di questa correzione e troverassi essere la settima parte di quella della sfericità, onde la correzione complessiva degli errori di sfericità e di rifrazione sarà $^6/_7$ del quadrato della battuta diviso pel diametro della terra, come è calcolato nella seguente

TAVOLA
PER LA CORREZIONE DA ESEGUIRSI
IN OGNI BATTUTA

Per 50^{m}	*Corres.* 0^{m},00017
100	0,00068
150	0,00152
200	0,00269
250	0,00421
300	0,00606
350	0,00825
400	0,01077

40. *Rettificazione dello strumento a cannocchiale capovolgibile.* — Si principia dall'osservare se l'obiettivo è alla distanza che richiedesi dalla vista dell'osservatore, e se la croce dei fili rimane nel fuoco dell'obiettivo, le quali cose sono determinate dal vedere nettamente; poi si riscontra col girare il tubo se la intersezione dei fili si trova sull'asse ottico del canocchiale. Quando siamo certi di ciò si pone nel mezzo la bolla del tubo LL', la orizzontalità dello strumento sarà esatta se facendo girare il dischetto minore CC' (Tav. II. fig. 4) resterà quella sempre nel mezzo. Allora rimane di assicurarsi che l'asse ottico sia parallelo a quello del tubo a bolla: a questo fine traguardando col canocchiale (Tav. II. fig. 7) lo scopo MN, suppongasi che non essendo la direzione BB' dell'asse ottico parallelo all'asse della bolla LL' la visuale si diriga nello scopo in Z. Aperti i due semicerchi sopra gli appoggi AA', si leverà il cannocchiale per rimetterlo capovolto in modo che l'oculare corrisponda dalla parte dell'appoggio A, se prima corrispondeva ad A'. Guardisi bene in questo rivoltamento che non s'insinui alcuna sorta d'immondezza tra gli appoggi ed il tubo. Volgasi per mezzo giro il disco CC', e con esso il canocchiale sopraposto onde l'obiettivo si trovi nuovamente alla parte dello scopo. In questa seconda posizione l'asse del canocchiale che prima aveva la direzione BB' venga ad aver quella di *bb'*. Si osservi per mezzo del canocchiale lo scopo, si noti il punto Z' in cui la visuale incontra lo scopo, e la distanza ZZ' nello scopo determina il doppio dell'errore dell'asse ottico. La correzione da farsi al canocchiale sarà indicata dal punto X che rimane alla metà della trovata distanza. A tale oggetto si abbasserà o si inalzerà il sostegno del canocchiale dalla parte che conviene per mezzo della sua vite finchè la visuale non colpisce il punto X dello scopo. Fatto ciò il livello è rettificato cioè gli assi del canocchiale e della bolla son paralleli al piano del gran piatto RQ: ed un riscontro se ne avrà eseguendo di nuovo il rivoltamento del canocchiale, e facendoli fare mezzo giro, allora la visuale dovrà colpire lo scopo nel punto stesso X, e la bolla resterà immobile al mezzo del suo tubo.

41. *Rettificazione che può farsi in un livello anche non munito di canocchiale capovolgibile.* — Posta la bolla al mezzo, o il filo a piombo al suo segno, e in generale essendo il livello in quella situazione che fa supporre l'orizzontalità della visuale, si collocheranno due scopi ad egual distanza da esso, e si traguarderà prima verso l'uno, e poi verso l'altro. Si noteranno i due punti nei quali gli incontra la visuale, e questi rimarranno sovra una medesima orizzontale, poichè la visuale sia che inclini verso l'alto o verso il basso, deve l'inclinazione esser la medesima, e perciò deve sollevarsi o de-

primersi egualmente alle eguali distanze a cui sono collocati gli scopi. Conosciuta così una linea orizzontale rimarrà ad osservarsi se la visuale che si manda per lo strumento è a quella parallela. A tale oggetto si porrà lo strumento sul prolungamento della linea dei due scopi, e traguardando l'uno e l'altro si regolerà il canocchiale in modo, che la visuale li ferisca ad egual distanza dai punti dianzi notati.

Se vi fosse la comodità di avere un' esteso stagno di acqua, siccome questo assegna la orizzontale, basterà per la rettificazione di porre due scopi sull'acqua e sul prolungamento della linea che passa per essi collocare lo strumento, e quindi regolare il canocchiale in modo che la visuale li ferisca ad eguale altezza dall'acqua stagnante.

Un terzo metodo per rettificare il livello è quello della livellazione reciproca, che abbiamo (39) insegnato come atto a farci conoscere l'effetto della rifrazione prodotta dall'aria, ed è chiaro che per quest' oggetto converrà non fare una battuta grandissima per evitare la rifrazione.

Altimetria barometrica, e termometrica.

42. *Uso del barometro per misurare le altezze.* — Conviene adoprare un barometro facilmente portatile, e perciò in luogo di quello torricelliano (*Int.* 9) si usa spesso il barometro a sifone (Tav. II. fig. 8). Questo ha la maggior branca A chiusa ove è il vuoto torricelliano, e la colonna del mercurio discendendo fino alla curva giunge nella minor branca B che è aperta con un sottil foro assai al di sotto della sua volta di cristallo, onde vi entra l'aria, e quando per trasportarlo è capovolto lo strumento, il mercurio va alla volta e non sorte dal foro. Alle due branche ove rimangono le due superfici del mercurio il tubo ha egual diametro e perciò essendo il mercurio ben netto la capillarità non influisce sull' altezza della colonna barometrica. Questa si misura leggendo sulle divisioni dello strumento il suo principio al livello nella branca corta, e il suo termine all'altro livello nella lunga. Sul mercurio che è nella branca corta gravita la pressione atmosferica, e l'aria che è un fluido tanto più leggero del mercurio può in una colonna alta quanto è l'atmosfera stare equilibrata colla colonna barometrica del mercurio come ci insegna l' equilibrio de' fluidi eterogenei nei vasi comunicanti (7). Se col sollevare a notabile altezza il barometro ci si avvicinerà alla sommità dell' atmosfera, rimanendo meno pesante la colonna aerea che gravita sul mercurio dovrà abbassarsi corrispondentemente la colonna barometrica, e tanto più quest'effetto sarà sensibile inquantochè gli strati aerei prossimi alla terra, i quali cessano di gravitare sul barometro, sono i più pesanti. Da ciò ne viene che l'indicato abbassamento della colonna mercuriale che si ha al sollevare in alto il barometro indica per mezzo di un conveniente calcolo l'altezza a cui è stato lo strumento sollevato; e può indicare la misura dell'altezza delle montagne, e degli altri luoghi elevati se in questi venga trasportato ed osservato il barometro. Per piccole altezze può dirsi che si abbassa il barometro di $1,^{mm}$ per $10,^{m}5$ essendo questo il rapporto approssimato tra la densità dell' aria e del mercurio.

43. *Formula che può usarsi per aver la misura delle altezze col barometro.* — La pressione atmosferica non è eguale in tutte le altezze e decresce in progressione geometrica mentre le altezze crescono in progressione aritmetica. Intendasi infatti divisa in piccoli strati orizzontali eguali una colonna atmosferica, e sia P il peso di tutta la colonna a, b, c, ec. i pesi degli strati successivi; siccome questi sono proporzionali alle densità e ai pesi prementi avremo

$$a : b : c = P - a : P - a - b : P - a - b - c$$

quindi rilevasi

$$a - b : b = b : P - a - b$$

$$b - c : c :: c : P - a - b - c$$

cioè

$$b^2 = P(a - b) - a^2 + b^2$$

$$c^2 = P(b - c) - a(b - c) - b^2 + c^2$$

Da queste rilevasi per il valore di

$$P = \frac{a^2}{a - b} = \frac{b^2 + a(b - c)}{b - c}$$

e di qui riducendo si ottiene

$$b^2 = ac \text{ cioè } a : b :: b : c.$$

Dunque come voleasi dimostrare i pesi dei tre strati stanno in progressione geometrica. E chiamando φ l'altezza che è da un dato strato alla sommità dell' atmosfera, e P la pressione dell' atmosfera su quello strato sarà $m\varphi = log.$ P. Ove m è un fattore costante. Parimente chiamando φ' l'altezza che è da un altro strato superiore alla sommità dell' atmosfera e p la pressione atmosferica in esso, avremo

$$m\varphi' = log\ p$$

quindi rilevasi

$$m(\varphi - \varphi') = log\ P - log\ p.$$

Ma $\varphi - \varphi'$ è eguale all' altezza determinata dalla distanza dei due strati, che io chiamerò z. Dunque $mz = log\ P - log\ p$ lo che mostra che l'elevazione d' un punto dell'atmosfera sopra di un altro è proporzionale alla differenza dei logaritmi, delle altezze barometriche corrispondenti a questi due punti.

Ora sappiamo che sul livello del mare la media altezza del barometro è 760^{mm} e che a zero gradi (*Int.* 53.64) il peso del mercurio rapporto a quello dell' aria è 10470, dunque se noi supporremo uno strato d'aria di $10,^{m}470$ diviso in altri dieci strati di egual grossezza $1,^{m}047$ i loro respettivi pesi in altezze barometriche saranno

$$a' = 0,^{mm}1 \qquad = 0,^{mm}1$$

$$a'' = \frac{a'}{760}(760 - a') \qquad = 0,99547$$

$$a''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - a'') \qquad = 0,99534$$

$$a'''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - a'' - a''') = 0,99521$$

$$a''''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - a'' - a''' - a'''') = 0,99508$$

$$a'''''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - \text{ec.} - a''''') = 0,99495$$

$$a''''''' = \frac{a'}{670}(760 - a' - \text{ec.} - a'''''') = 0,99482$$

$$a'''''''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - \text{ec.} - a''''''') = 0,99439$$

$$a''''''''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - \text{ec.} \ldots a'''''''') = 0,99455$$

$$a'''''''''' = \frac{a'}{760}(760 - a' - \text{ec.} \ldots a''''''''') = 0,99443$$

e tutto lo strato di $10,^{m}47$ corrisponderà col suo peso ad una colonna barometrica di $0^{mm},9954$. Quindi sollevandosi per metri 10,470 l'altezza del barometro scemerà di $0,^{mm}9954$. Dunque supposto la temperatura dell' atmosfera uniforme a zero gradi, e chiamando P, p le altezze barometriche alle due stazioni, si avrà la proporzione

$$10,470 : z :: log\ 760 - log\ 759,0045 : log\ P - log\ p$$

e per conseguenza

$$z = \frac{10,470}{0,0005693}(log\ P - log\ p)$$

$$= 18391\ (log\ P - log\ p).$$

Questa formula potrà servire a darci

in metri l'altezza cercata di una montagna, o di altro luogo elevato quando si conoscano le altezze delle colonne barometriche al piede ed alla sommità di quel monte o di quel luogo. Per tenere a calcolo la temperatura dell' aria che non sarà sempre di zero gradi come abbiamo supposto, conviene ricordare che l' aria si dilata $^1/_{272}$ per ogni grado di temperatura del termometro centigrado, e dovremo accrescere l' altezza trovata tante volte $^1/_{272}$ del suo valore quanti sono i gradi della temperatura media che ha l'aria per tutti gli strati di quell' altezza. Inoltre anche la temperatura del mercurio non è sempre di zero gradi e conviene ridurla a quella che realmente si ha togliendo all' altezza barometrica $^1/_{5550}$ del suo volume tante volte quanti sono i gradi al di sopra di zero. Laonde la formula per la livellazione barometrica colle due correzioni sopra esposte, si ridurrà alla seguente, ove P, p sono le altezze barometriche, T, t la temperatura dell' aria nelle due stagioni, T', t' quelle del mercurio

$$z = 18391^m\left(1+\frac{T+t}{544}\right) log \frac{P(5550-T')}{p(5550-t')}$$

Oltre la temperatura dovrebbe tenersi a calcolo l'umidità atmosferica. Ciò si farà aggiungendo alla formula il fattore

$$1 + {}^3/_{16}\,\frac{Y+\nu}{P}$$

ove Y, ν indicano le tensioni del vapore acqueo misurate coll' igrometro di Daniel nelle due stazioni, e P è l' altezza della colonna barometrica. È però ben di rado osservata la tensione del vapore acqueo, e perciò questo fattore si trascura.

Nel fare le osservazioni barometriche si ha cura di aver ben comparabili i due barometri posti nelle due stazioni, e si eseguiscono da due individui contemporaneamente. Possedendo un sol barometro si userà di far l' osservazione nella posizione più bassa, quindi in quella più alta, e dipoi tornare nel più breve tempo possibile a quella bassa per prendere una media. Si eviteranno i tempi di burrasca e si preferirà l' aria calma, ed un ora prossima a quella del mezzogiorno. Si collocheranno i barometri e i termometri all' ombra lontani dai riflessi, e si terranno in posto per il tempo necessario ad acquistare la temperatura dell' aria. Si scuoterà con un dito leggermente il barometro prima di osservarlo. È da consigliarsi il ripetere le osservazioni per prendere delle medie.

Secondo le leggi del Dalton l'atmosfera del gaz ossigene essendo in equilibrio indipendentemente da quella del gaz azoto, dovrà essa per la sua maggiore gravità specifica decrescere in densità più rapidamente di questa. Tenuto dietro col calcolo a tal disposizione dell' atmosfera si trova che l'altezza calcolata colla precedente formula è un poco piccola, e deve essere accresciuta della tenue quantità che segue

Altezze	*Correzioni*
1000^m	0^m,2
2000	0, 7
4000	2, 8
6000	11, 2
10000	17, 5

44. *Misura delle altezze col mezzo del termometro* — L' acqua bolle a più bassa temperatura sotto minori pressioni atmosferiche perchè nell' ebullizione il vapore colla tensione fa equilibrio alla pressione atmosfe-

rica. Ma a maggiori altezze la pressione è più piccola, dunque l'acqua dovrà porvisi in ebullizione ad una temperatura più bassa. Le esperienze che sono state fatte per determinare la tensione del vapore di acqua a diverse temperature, la misurano con corrispondenti pressioni prodotte da colonne di mercurio, e possono servire al nostro scopo. Conosciuto in fatti a quanta temperatura bolle l'acqua in due posizioni di differente altezza se ne dedurrà le respettive tensioni del vapore date in millimetri di mercurio: ne avremo per conseguenza le altezze delle colonne barometriche che corrispondono a quelle due stazioni, e quindi ne dedurremo l'altezza dell'una stazione sull'altra.

TAVOLA DELLE TENSIONI DEL VAPORE DA 100° A 90° PER L'ALTIMETRIA.

100°	760mm	97,5	694,98	95	634,27	92,5	577,79
99,9	757,30	97,4	692,48	94,9	631,95	92,4	575,61
99,8	754,61	97,3°	689,99	94,8	629,63	92,3	573,44
99,7	751,93	97,2	687,52	94,7	627,31	92,2	571,27
99,6	749,26	97,1	685,05	946°	625,00	92,1	569,11
99,5	746,60	97	682,59	94,5	622,69	92	566,95
99,4	743,95	96,9	680,13	94,4	620,38	91,9	564,80
99,3	741,31	96,8	677,67	94,3	618,18	91,8	562,66
99,2	738,68	96,7	675,21	94,2	615,78	91,7	560,53
99,1	736,06	96,6	672,75	94,1	613,48	91,6	558,40
99	733,46	96,5	670,30	94	611,18	91,5	556,28
98,9	730,86	96,4	667,85	93,9	608,89	91,4	554,17
98,8	728,26	96,3	665,42	93,8	606,61	91,3	552,07
98,7	725,66	96,2	662,95	93,7	604,34	91,2	549,97
98,6	723,07	96,1	660,50	93,6	602,08	91,1	547,88
95,5	720,48	96	658,05	93,5	599,83	91	545,80
98,4	717,90	95,9	665,61	93,4	597,59	90,9	543,72
98,3	715,32	95,8	653,19	93,3	595,36	90,8	541,65
98,2	712,75	95,7	650,78	93,2	593,14	90,7	539,58
98,1	710,19	95,6	648,38	93,1	590,94	90,6	537,52
98	707,63	95,5	646,00	93	588,74	90,5	535,47
97,9	705,08	95,4	643,63	92,9	586,53	90,4	533,42
97,8	702,54	95,3	641,27	92,8	584,34	90,3	531,38
97,7	700,01	95,2	638,93	92,7	582,15	90,2	529,34
97,6	697,49	95,1	636,60	92,6	579,97	90,1	527,31
						90	525,28

Dai gradi ai quali bolle l'acqua nelle due stazioni si avranno colla tavola precedente le tensioni del vapore corrispondenti P,p, e per quello che si è detto di sopra (43) avremo l'altezza z cercata per mezzo della seguente formula

$$z = 18391^{m} \left(1 + \frac{T+t}{544}\right) log \frac{P}{p}$$

È stata data dal Wollaston una

particolar disposizione al termometro che ha da servire a quest' uso. Un vaso M (Tav. II. fig. 9) contiene dello spirito di vino che può ardere con un lucignolo al di sotto di un' altro vaso cilindrico di rame NL. In questo vi è ad un certo punto un segno che determina il recipiente L per l'acqua che ha da bollire dopo che vi è stata posta in una quantità determinata. Esiste alla sommità del recipiente N un foro ove s' introduce ed avvita il castello I, il quale raccoglie un grosso globo di termometro a mercurio. Questo termometro è capace di indicare soli pochi gradi prossimi al 100, per es.° dal 90° fino al 100°, onde sulla scala leggonsi bene anche i decimi di grado; e vi è un nonio P munito di una lente microscopica Q che indica i centesimi di grado. Allorchè l' acqua bolle non si ha da far altro che portare la sommità del nonio al livello ove trovasi il mercurio, e per collocarlo con precisione si farà uso della lente. Quindi spenta la fiamma e cessato il vapore si potrà leggere a quanti gradi e centesimi di grado bolle l' acqua nel luogo ove si fa l' esperienza. Che se vi sono oltre ai decimi anche dei centesimi, si interpolerà la tavola sopra riportata.

Del sifone e della fontana d' Herone.

45. *Sifone* — Si usa il sifone per passare il liquido da uno in un' altro vaso. La più corta branca BS (Tav. II. fig. 11) immerge nel vaso da cui si toglie l' acqua: l' altra SC ne è fuori. Chiusa con un dito l' estremità C si aspira l' aria del tubo AT, allora sale il liquido e riempie il sifone BSC, e aperta la bocca in C sgorga da questa il liquido. Le due colonne di liquido SB, SC fanno forza per cadere in senso opposto, e non potendo perchè la pressione atmosferica impedisce che si formi il vuoto in S, ne viene che la colonna più piccola SB è costretta a seguire nel movimento l' altra maggiore SC, e il getto si fa continuato. La forza che lo mantiene è la differenza NC fra le due colonne liquide. Di qui ne viene che invece di riempire il sifone con l' aspirazione, si potrà tenere capovolto e gettarvi dell' acqua, e poi chiuse le estremità con due dita, collocarlo in posto: per conseguenza potrà mancare il tubo d' aspirazione AT.

Aprendosi un foro nella sommità S in modo che vi potesse entrare l' aria il sifone cesserà d' agire, e cadranno in senso opposto le due colonne liquide cioè l' una tornerà nel vaso e l' altra cadrà al di fuori. Se anche dell' aria si introduce dall' apertura B potrà cessare di agire il sifone. Quando sia molto grande il diametro del tubo, e l' apertura C non peschi nel liquido del vaso che si riempie potrà l' aria introdursi nel sifone anche per la branca SC.

Posto che il sifone abbia l' apertura esterna C più alta del livello del liquido del vaso che si vuota, torna nel vaso tutto il liquido che riempiva il sifone, e questo più non agisce. Essendo nello stesso piano orizzontale l' apertura esterna C, e il livello del vaso da vuotarsi rimane in equilibrio entro al tubo il liquido. Quanto poi più si abbassa l' apertura esterna rapporto al livello, e più celeremente si muove nel sifone il liquido.

46. *Diverse forme di sifone* — Ricurvata in alto (Tav. II. fig. 10), ed assottigliata la parte più lunga del sifone si può avere una fontana, o

un getto di liquido verso l'alto. Esso si alzerebbe fino al livello del vaso che si vuota se non vi fosse la resistenza dell'aria.

Alla curvatura del sifone (Tav. II. fig. 13) avendosi un recipiente di cristallo potrà ivi farsi un getto mentre l'acqua esce dalla apertura esterna, e l'aria lì raccolta non impedirà il gioco del sifone perchè è tenuta rarefatta dalla colonna del liquido che è nel sifone. Per conoscere diverse forme utili del sifone invio ai bullettini della Società d'incoraggiamento del 1809, 1823, 1824, 1836, 1837.

Un vaso (Tav. II. fig. 12) che abbia un sifone A nel suo interno che colla branca più lunga ne chiuda l'apertura porrà in gioco il sifone quando il liquido giunge alla parte più elevata del sifone. E se viene ripieno con maggior lentezza di quello che agisca il sifone per vuotarlo si avrà un getto intermittente. Può formarsi il sifone anche di un tubo diritto B, (Tav. II. fig. 12) aperto da ambedue le parti, e coperto alla parte interna con una campanetta o altro tubo più largo chiuso all'estremo superiore. In questo caso non solo si avrà il getto intermittente, ma si potrà anche sospendere il getto col levare la campanetta.

In moltissimi luoghi si trovano fontane naturali che hanno regolari intermittenze. Queste non tutte proverranno dalla stessa cagione, e già noi ne abbiamo esaminate (*Int.* 41) anche provenienti da altra cagione.

47. *Fontana di Herone* — Si compone questa fontana (Tav. II. fig. 14, 15) di tre vasi uno superiore A, uno medio B, ed uno inferiore C, con i quali comunicano i tre tubi *ab*, *cd*, *ef*. Il tubo *ab* principia dal fondo del primo vaso A, e termina a poca distanza dal fondo del terzo vaso C; l'altro tubo *cd* ha principio verso la sommità del secondo vaso B, e giunge fino alla sommità del terzo vaso C; il tubo *ef* si apre con sottil becco al di sopra del vaso primo A, e giunge coll'altra apertura in prossimità del fondo del secondo vaso. Posta dell'acqua in A che riempia il tubo *ab*, e il terzo vaso fino in C: posta parimente dell'acqua anche nel secondo vaso fino in B: essendo aria nella sommità del vaso B, e del vaso C, ed anche nel tubo *cd* che ne stabilisce la comunicazione; la pressione idrostatica AC comprime l'aria che è tra C e B, e l'aria compressa reagisce sul livello B spingendo l'acqua in alto attraverso al tubo *ef*. L'altezza a cui può giungere l'acqua zampillante sarà sempre minore dell'altezza della colonna liquida premente AC. Le due figure della fontana d'Herone mostrano come possa darlesi differente disposizione, ed inoltre la seconda figura fa conoscere che può allungarsi il tubo *cd* anche più dell'altro *ab*, e sempre si otterrà l'effetto di comunicare la pressione mediante l'aria dal livello C al livello B.

Con un apparato costruito su questi principj (Tav. II. fig. 16) si leva l'acqua nelle miniere di Schemnitz in Ungheria. Io non ne farò la descrizione perchè avendo posto lettere corrispondenti anche a questa figura può servire quella che precedentemente ho fatta per la fontana d'Herone. Solo devo aggiungere che il recipiente C posto sopra una collina 45 metri più basso dell'altro A, il quale sta sopra una montagna, riceve da questo l'acqua, e la pressione idrostatica, che mediante l'aria è comunicata al recipiente B posto nel pozzo alla profondità di 31 metri, e spinge sù l'acqua per il tu-

bo *ef*. Un operajo è costantemente occupato ad aprire e chiudere alternativamente i due rubinetti *l*,*m*. Chiude *l* ed apre *m* appena l'acqua cessa di sgorgare in *f*, e viceversa chiude *m* ed apre *l* quando l'acqua cessa di sgorgare da *m*. Boswel perfezionando la macchina ha fatto alla forza dell'acqua adempiere l'ufizio dell'operajo: essa lavorando 24 ore senza interruzione eleva 411 metri cubi di acqua, e ne cadono dalla montagna 685, onde avremo che il lavoro utile e quello motore sono

$$31^m \times 411000^k = 12741000^{km}$$
$$45^m \times 685000^k = 30825000^{km}$$

perciò il prodotto utile è 0,41 della forza impiegata.

Diversi modi di produrre una pressione costante, e un getto costante.

48. *Del trabocco* — Il più semplice modo per mantenere costante il livello consiste in tenere il vaso sempre pieno facendolo costantemente traboccare. Venga (Tav. III. fig. 1) dal vaso R l'acqua regolata con la valvula *s* in modo che sovrabbondi a quella che esce dal foro *o*. La cassa *cc* mentre impedisce che l'agitazione si comunichi al liquido del recipiente *n o n'* col suo trabocare costantemente per un lato ove è la parete più bassa, mantiene il livello in *b c n'* e per il lato opposto lascia fuggire l'acqua che sopravanza. Spesso ad evitare maggiormente l'agitazione del liquido si riduce il vaso in tre compartimenti con due divisorj *ab*, *cd*. L'uno permette che l'acqua passi dalla sua parte *a* inferiore, e l'altro la fa traboccare dalla parte superiore *c*.

49. *Galleggiante di Prony* — Per esattezza di resultato è preferibile l'uso di un galleggiante, il quale immergendosi per un volume eguale a quello del liquido che sgorga mantenga costante il livello. Nè ciò rimane difficile ad ottenersi, se al galleggiante istesso facciasi sostenere la cassa ove vien raccolta l'acqua che sgorga. Sia (Tav. III. fig. 2) ABCD il recipiente nel quale vogliamo un livello costante mentre il liquido sgorga dagli orifizj che sono in M. I divisori CC, C'C' per trabocco fanno entrare l'acqua nel compartimento di mezzo. Due casse galleggianti F,F' immergono nei compartimenti estremi N,N': sono collegate da un telaio TTTT il quale sostiene la cassa V: e sono obbligate ad immergersi tanto più, quanto più è il liquido che sgorga, perchè questo liquido stesso si raccoglie nella cassa V, e gravita sui galleggianti.

50. *Vaso di Mariotte* — Questo ingegnosissimo apparato è un vaso ripieno di acqua (Tav. III. fig. 3) con foro *o* in una parete laterale assai stretto per non permettere ingresso all'aria mentre ne esce l'acqua; e con un tubo *lm* che va esattamente a fregamento nel tappo che chiude l'apertura superiore. Se introducesi il tubo fino in *l* al di sotto del foro *o*, e quindi apresi questo, si vedrà che il liquido esce in quella quantità necessaria perchè giunga entro al tubo fino al livello *op* che passa per il foro, e tosto cesserà il getto. Alzando il tubo si manterrà costantemente il livello del liquido entro ad esso nello stesso punto *p* finchè ivi non giunge la sua apertura perchè la pressione atmosferica che egualmente agisce dall'apertura superiore *m* del tubo, e dal foro *o* mantiene l'equilibrio essendo le due superfici libere nello stesso piano orizzontale. Alzato però il tubo colla sua inferiore apertura al di sopra del foro *o* per es.° in *n*, si introdurrà l'a-

ria a bolle per il tubo nel vaso, e getterà il foro *o* con una celerità costante dovuta all'altezza *np* del liquido, fintanto che il livello nel vaso non si sarà abbassato al di sotto di *n*. Infatti la pressione atmosferica si esercita in *n*, e tutto il liquido che è al di sopra dello strato orizzontale, che passa per questo punto unito all'aria che si trova alla sommità del vaso, non produce sugli strati sottoposti che la pressione dell'atmosfera, onde è come se in *n* fosse il livello libero di un vaso aperto. Potremo dunque con questo vaso ottenere un getto con quella celerità che più ci piace, purchè si regoli l'altezza dell'apertura del tubo al di sopra del foro, e si avrà un getto colla minima velocità quando il tubo sia a minima distanza dal piano orizzontale che passa per il foro.

Il vaso di Mariotte darà un getto in alto se abbia in alto rivolta la sua apertura (Tav. III. fig. 4); darà un getto verticale in basso se si sostituisce al foro l'apertura esterna (Tav. III. fig. 5), o di un sifone; darà con piccole oscillazioni costanza nel getto se all'apertura esterna del tubo (Tav. III. fig. 6) si sostituisca l'apertura superiore del vaso, purchè alla chiusura di questo supplisca quella di altro vaso che stà capo-volto sul livello del liquido.

51. *Sifone galleggiante* — Altro modo semplicissimo per ottenere un getto costante consiste nel sostenere (Tav. III. fig. 7) un sifone contrappesato con un galleggiante, perchè essendo l'immersione del galleggiante sempre costante, rimane anche l'apertura esterna del sifone sempre egualmente bassa al di sotto del livello del vaso. Questo è forse il metodo più adattato per avere un getto costante per lunghissimo tempo da un fiume o da un' inesauribile conserva di acqua. Si può adottare per le erogazioni di acqua, per fare degli orologi ad acqua ec.

52. *Lampade idrostatiche* — È condizione essenziale perchè il lume sia sempre di egual forza, che l'olio nella lampada si mantenga a costante altezza, o almeno vari di poco il suo livello. L'apparato di Mariotte vi si vede spessissimo applicato (Tav. III. fig. 8). Un recipiente CB ha due capacità, l'una C aperta in alto riceve l'altra B che è chiusa da tutte le parti, eccettuato in basso ove un orifizio é munito di una valvula D. Si eleva questo vaso B e si rivolta per riempierlo d'olio, quindi chiusa la valvula si riporta entro a C. Ivi la valvula si apre appoggiando il suo asse, e l'olio discende al lucignolo. Ma siccome l'aria non può entrare nel vaso esce poco olio. Il consumo prodotto dal lume togliendo quell'olio che ha otturato il condotto, fa che l'aria passi, e una nuova dose d'olio torni al lucignolo.

Girard immaginò una lampada nella quale l'olio era portato al lucignolo per mezzo di una modificazione della fontana d'Herone, ma essendo molto complicata non è rimasta in uso. I lumi a movimento d'orologeria di Carcel e di Gagneau (vedasi il bullettino della Società d'Incoraggiamento del 1820 pag. 100) sono senza dubbio preferibili a tutti gli altri: la luce è più bianca, brillantissima, fissa e senza fumo nè odore: si può dare loro la forma la più elegante non avendo alcun pezzo che faccia ombra presso al lucignolo, e potendo esso solitario sormontare una elegante colonna.

Solo fra gli idrostatici si possono i lumi di Thilovier porre a confronto con quelli meccanici tanto per il prez-

zo che per la bellezza della luce, e l'eleganza della forma (Tav. III. fig. 9). In questi sotto l'involucro esterno che ha la figura di una colonna: due recipienti A e B comunicano tra loro per mezzo del tubo *ab*, e con il becco *d* per mezzo del tubo *ce*. Nel superiore A, nel tubo *ab*, ed in quello inferiore fino al livello B, è una soluzione salina formata da pesi eguali di acqua e di solfato di zinco. Questa soluzione non deposita alcun cristallo, non attacca la latta dalla quale è formato il recipiente, facilmente si prepara, non si altera al contatto dell'olio ed ha una gravità specifica che sta a quella dell'olio come 1,57:1. Il restante del recipiente B, e il tubo *ce* sono ripieni d'olio. Il recipiente A chiuso alla parte superiore ha il tubo di Mariotte (48) *g* che giunge fino in *n*: onde non dovrà valutarsi la pressione idrostatica *nz*, e per l'equilibrio de' fluidi eterogenei dovrà aversi che l'altezza da *n* a B stà a quella da B a *d* come 1 : 1,57. Verificasi nell'apparato questa proporzione, e si ottiene l'olio quasi in situazione costante al livello *d* per sei o otto ore di illuminazione, giacchè pertutto questo tempo non si consuma che una quantità d'olio eguale al volume della soluzione che è in *nz*, e passando questa nel recipiente B che ha molta larghezza, piccola altezza vi acquista, e restano quasi costanti le pressioni idrostatiche.

Il solfato di zinco si pone nel vaso una volta per sempre collo stesso metodo che si usa per l'olio. Si versa l'olio giornalmente con un'imbuto costruito a bella posta che lo fa entrare fra i due cilindri del becco ove sta il lucignolo. Essendo sollevato il tubo *g*, si può dalla pressione dell'olio riportare nel recipiente A la soluzione fino in *z* quando vi è l'imbuto. Ed abbassato il tubo *g* fino in *n*, si toglierà l'imbuto. Quell'olio che per sovrabbondanza trabocca è ricevuto nella vaschetta *h*, e per il tubo *k* discende nel recipiente M, da dove levasi nel nettare ogni giorno il lume.

CAPITOLO III.

Del moto dell'acqua nell'efflusso da un vaso inesausto per un foro scolpito in lastra sottile.

53. *Teorema del Torricelli* — I fenomeni dell'acqua che mostrano la transizione dall'idrostatica all'idraulica sono quelli del moto del liquido allorché si lascia sgorgare per un foro fatto nella parete del vaso. Particolarmente quando la parete è formata da una lastra molto sottile rapporto al diametro del foro, e questo è molto piccolo in rapporto al diametro del vaso. Io qui mi propongo di parlare principalmente di questo caso, e per rendere anche più semplice la questione ritengo che il vaso sia inesausto, o si possa considerare costantemente pieno.

Per farci idea della velocità con cui sortirà l'acqua dall'orifizio supporremo primieramente che questa apertura sia grande quanto è la sezione del vaso. Allora come un grave cadente libero a se stesso si abbasserà la massa liquida e perciò i primi strati esciranno dall'orifizio colla velocità zero avendo percorso un minimo spazio, gli altri più elevati ne esciranno con velocità sempre maggiori, e quello strato che era al-

la sommità del vaso quando si è aperto l'orifizio, disceso fino a questo, ne escirà con la velocità acquistata nella caduta per tutta l'altezza che aveva il liquido nel vaso. Lo stesso dovrà dirsi degli strati che succederanno in seguito se mantienesi il vaso costantemente pieno senza che nell'affondere nuovo liquido si comunichi velocità. Onde possiam ritenere che dopo brevissimo tempo dacchè è cominciato l'efflusso si stabilirà in esso una velocità dovuta all'altezza dell'acqua nel vaso sopra l'apertura. In secondo luogo supponiamo che il foro sia estremamente piccolo rapporto alla sezione del vaso, ed allora mentre sgorga il liquido può ritenersi che insensibile sia il movimento che si produce negli strati del liquido. Ogni strato si muove per un minimissimo intervallo, ed insiste sullo strato sottoposto cioè comunica ad esso la celerità che acquista. Quindi in ogni strato si trova non solo la celerità che esso ha acquistata nel piccolo movimento che ha fatto, ma anche tutte quelle che hanno acquistate gli strati superiori ne' loro piccoli movimenti. Ma per le particelle prossime al foro tutti quei movimenti formano l'altezza del liquido: dunque anche in questo caso avrà luogo l'afflusso con la celerità dovuta all'altezza dell'acqua sull'orifizio. Ora fra i due limiti da noi considerati stanno sempre le ampiezze dei fori, e per il principio d'eguaglianza di pressione tanto sarà che il foro sia al fondo del vaso, o in una parete verticale; onde potremo generalmente stabilire che la celerità di un fluido alla sua escita da un orifizio praticato in una sottil parete di un recipiente, è quella che avrebbe acquistata un grave il quale fosse caduto dal livello del liquido fino al foro. Se designamo con v la velocità di egresso e con a l'altezza indicata avremo (*Mec.* 168) $v = \sqrt{2ga}$.

54. *Lo stesso teorema conviene a tutti i liquidi* — Ci persuadiamo di questa verità considerando che il ragionamento tenuto è generale, e la gravità imprime a tutti i corpi celerità eguali (*Int.* 56). La prova anche l'esperienza perchè avendo due vasi eguali ripieni di liquidi diversamente densi come di mercurio e (Tav. III. fig. 10) di acqua, e lasciato in ambedue aperto nello stesso tempo il foro, si vedrà che non solo le due parabole liquide sono eguali, ma anche i livelli si abbassano egualmente nei due vasi, ed in egual tempo i due vasi si vuotano.

55. *Le velocità sono come le radici quadrate delle altezze* — Avendosi due vasi con egual foro e con diversa altezza a, a' di livello al di sopra del foro, le velocità v, v' degli efflussi saranno

$$v = \sqrt{2ga} \qquad v' = \sqrt{2ga'}$$

e perciò

$$v : v' :: \sqrt{a} : \sqrt{a'}$$

cioè le velocità sono come le radici quadrate delle altezze. Per farne esperienza si abbiano due vasi che le loro altezze stieno :: 1 : 4, le velocità dovranno essere $v : v' :: 1 : 2$, e perciò dal secondo vaso in egual tempo escirà il doppio di acqua, o si avrà una portata doppia.

Sono state fatte esperienze da molti fisici, e tutte confermano con approssimazione il teorema come può vedersi dalla seguente tavola, ove i carichi variano da $0^m,026$ a $6,^m72$ e i fori dal diametro $0^m,0027$ al diametro $0^m,162$, e variano anche di figura.

Le piccole differenze non credo che possano attribuirsi che ad errori inevitabili in tali generi d'esperienze. La prima, seconda, quarta, e nona

serie d'esperienze è stata fatta dal Dott. Peri, e da me, la terza da Castelli e D'Aubisson, la quinta da Bossut, la sesta e settima da Michelotti, l'ottava da Poncelet e Lesbros.

Diamet. dell' orifizio	*Carico sull' orifizio*	*Rapporti tra le radici de' carichi*	*Rapporti tra le Portate o velocità*
0,0027^m	0,27	1,000	1,000
	0,72	1,632	1,595
	1,52	2,372	2,252
0,0052	0,27	1,000	1,000
	0,72	1,632	1,562
	1,52	2,372	2,289
0,01	0,026	1,000	1,000
	0,03	1,074	1,064
	0,04	1,241	1,244
	0,05	1,396	1,395
	0,06	1,519	1,524
0,012	0,27	1,000	1,000
	0,72	1,632	1,516
	1,52	2,372	2,224
0,027	1,30	1,000	1,000
	2,02	1,500	1,497
	3,81	1,713	1,707
0,061	2,54	1,000	1,000
	3,81	1,365	1,301
	6,76	1,758	1,699
0,162	2,11	1,000	1,000
	3,66	1,316	1,315
quadrato	0,40	1,000	1,000
0^m,20	0,70	1,323	1,330
su	1,00	1,586	1,590
0^m,20	1,30	1,803	1,806
	1,60	2,000	2,000
0^m,02	0,05	0,707	0,717
su	0,10	1,000	1,000
0^m,02	0,30	1,732	1,638
	0,65	2,549	2,320
	1,30	3,605	3,195

56. *Caso di una pressione aggiunta* — Alla pressione che un fluido contenuto in un vaso esercita per il suo peso può aggiungersi una pressione estranea. Allora la velocità dell'efflusso si aumenta, e per conoscere di quanto converrà calcolare di quanto si dovrebbe inalzare il livello dell'acqua, perchè abbiasi aggiunta una pressione eguale a quella estranea. Se chiamiamo P la pressione totale estranea, espressa con S la superficie data in metri dell'acqua sulla quale si esercita, sarà

$$\frac{P}{S} = 1000^k\, a'$$

ove a' dà l'altezza a cui dovrebbe inalzarsi il livello. Quando si fosse fatto questo inalzamento, è chiaro che la celerità sarebbe $\sqrt{2g(a+a')}$, e lo sarà egualmente colla pressione estranea.

In una caldaja a vapore ove sul foro, che è alla parte inferiore, sta l'acqua all'altezza di 1^m,2, e su quella agisce il vapore alla tensione di due atmosfere, si prenda a determinare con quanta celerità l'acqua sortirà. Una atmosfera della tensione del vapore serve ad equilibrare quella naturale, e resta la pressione di 760^{mm} di mercurio che corrisponde al peso di 10336^k per metro quadrato (*Int.* 100). Onde $10336 = 1000\, a'$ ed $a' = 10^m,336$. Si poteva avere egualmente a' riducendo la pressione del mercurio a pressione di acqua col moltiplicarla per la gravità specifica del mercurio 13,6; cioè

$$0^m,76 \times 13,46 = 10^m,33.$$

Perciò la velocità cercata sarà

$$\sqrt{2g(a+a')} = \sqrt{2.\,9,8\,(1,2+10^m,33)} = 15^m,03$$

57. *Teorema del Castelli* - L'acqua è un fluido sensibilmente incompressibile e nel suo movimento non si disuniscono le sue particelle; per conseguenza quella quantità d'acqua che passa per uno strato di un recipiente deve nello stesso tempo passare anche

per un'altro strato. Di qui ne viene che tanto più celere dovrà essere il suo moto, quanto lo strato è di minor sezione; lo che si esprime col dire che le celerità stanno in ragione inversa delle sezioni del vaso. Se indicheremo con v la velocità dell'efflusso al foro, la di cui sezione sia s, e con V la velocità alla sommità del vaso, ove la sezione sia S, avremo

$$V = \frac{vs}{S}$$

Da questo teorema noi deduciamo il modo di correggere la velocità all'efflusso che si era stabilita col teorema del Torricelli supponendo lo strato superiore del liquido in quiete; lo che non può essere. Dopo un piccol tempo si stabilirà una velocità costante in tutti gli strati. La differenza di forza viva che ha la massa M dell'acqua tra la sua posizione al livello del vaso, e al foro dell'efflusso deve eguagliare il doppio del lavoro meccanico di cui è suscettibile la sua forza acquistata dal passare dall'una all'altra posizione. Ma questo lavoro è quello di far risalire il peso all'altezza da cui è disceso. Si avrà dunque

$$Mv^2 - MV^2 = Mv^2 - Mv^2 \frac{s^2}{S^2} = 2gMa$$

cioè

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{a}{1 - \frac{s^2}{S^2}}$$

l'altezza dovuta alla velocità d'efflusso non è l'altezza del liquido sul foro ma una tanto più grande quanto è più grande il diametro del foro. Può bensì esser presa per quella quando il rapporto tra le due sezioni s,S è minore di $^1/_{23}$ perchè non si accresce essa che meno di un millesimo; o quando il rapporto tra i loro lati omologhi è minore di $^1/_5$. Questo resultato teorico è stato confermato anche dalle esperienze che ho fatte sù tal soggetto, giacchè io ho ritrovato che quando il rapporto tra la sezione del vaso e quella del foro era anche di $^1/_{20}$, la differenza fra la portata teorica, e quella sperimentale stava sempre dentro ai limiti dati dal coefficiente di contrazione del quale parleremo. Convien però nel fare esperienze sù fori, o aperture molto larghe, aver cura che l'acqua che entra nel vaso per mantenerlo a livello costante non scarseggi, e non faccia un vortice lungo il vaso, lo che accadendo porta ad un resultato opposto a quello dato dalla precedente teoria.

58. *Leggi del movimento dell'acqua entro al vaso* — Le più delicate esperienze che io ho potuto eseguire sù questo soggetto mi inducono a credere che le particelle liquide si dirigono al foro per linee rette convergenti, e formano dei filetti liquidi dove devono studiarsi le leggi del movimento. Lungo questi filetti la celerità va crescendo a misura che si avvicina la particella al foro.

Le esperienze che il Dott. Niccoli (vedi Giorn. del Cimento Anno IV.) ed io abbiam fatte, quando un piccol foro è al fondo di un vaso molto grande, ci han portato ad esprimere la legge dell'acceleramento con la formula

$$y = (a - r \log z) \log x - b$$

ove x dinota i carichi dell'acqua sovrastanti al foro, y le distanze dal foro stesso delle respettive molecole fluide, z le forze che animano le stesse molecole al moto, ed a,b,r tre costanti di cui a,b rimangono le stesse per tutti i filetti, ed r assume dei valori differenti che convengono alla seguente formula

$$r \cos \varphi + c \log (d r \operatorname{sen} \varphi) = o$$

nella quale φ rappresenta gli angoli di inclinazione coll'orizzonte de' respettivi filetti, e c,d due costanti. In tal

modo l'insieme delle molecole fluide che sono animate da eguali forze costituiscono delle particolari superfici di rivoluzione intorno alla verticale del centro del foro che rivolgono la concavità verso il foro medesimo. Queste superfici rassomigliano un'ellissoide compressa sulla verticale col centro alquanto al di sopra del foro, e con precisione sono rappresentate dalla seguente formula $(m-y)\ Cos\ \varphi + n\ log\ (m-y)\ sen\ \varphi = p$ in cui oltre alle notazioni predette si hanno a riguardare m, n, p come tre costanti che dipendono dal carico, e dal valore della forza che anima le molecole fluide appartenenti alle respettive superfici.

La permanenza degli indicati filetti con determinata legge di acceleramento nelle particelle fluide porta la permanenza di superfici o strati liquidi con egual velocità in tutte le parti. Questi strati dovranno ridursi sempre meno convessi, e tenderanno ad appianarsi quando ci si allontana dal foro. Saranno però in un vaso prismatico sensibilmente convessi ove da strato a strato si rende sensibile l'acceleramento, ed io l'ho ritrovato tale sotto il carico di 580^{mm} alla distanza dal foro di $52,^{mm}5$ quando il foro aveva il diametro di 9^{mm}. Viceversa ove non si faccia sentire questo acceleramento, o se il vaso non essendo prismatico sia la velocità in ragione inversa della sezione del vaso, si potranno tenere i filetti per paralleli. Allora ogni strato orizzontale si muoverà parallelamente a se stesso. Ciò può ritenersi che sempre accada a distanze assai grandi dal foro. In questo caso si dice di avere nel fluido il moto *lineare*, e generalmente così chiamasi il moto dell'acqua quando esso segue l'andamento di una linea direttrice per modo che intendendo diviso il fluido per sezioni ad essa normali, tutti i punti della stessa sezione camminino con velocità prossimamente eguali fra loro, e parallele alla linea direttrice. Coloro adunque che considerano come lineare il moto de' liquidi nei vasi fino in molta prossimità del foro, vanno molto errati, e stabiliscono delle teorie che non han luogo in natura.

59. *Leggi del movimento del liquido all'escire dal vaso.* — Approssimandosi all'orifizio tutti i filetti fluidi convergenti proseguono questa loro direzione anche all'esterno, per cui la vena fluida non si forma cilindrica, ma dopo breve tragitto mostra un ristringimento D *d* che si dice la *vena contratta* (Tav. III. fig. 11). Al di là di questo punto, è da considerarsi la vena secondo la forma del foro: essendo circolare prende figura cilindrica quando il getto è orizzontale, leggermente conica convergente quando il getto è verticale volto al basso, e leggermente conica divergente quando il getto verticale si fà in alto. Ciò avviene perchè nei getti verticali le particelle liquide acquistando moto accelerato, o ritardato, tendono ad allontanarsi in un caso, e ad avvicinarsi nell'altro. Essendo il foro in forma di poligono, han luogo scherzosissime forme di getti, nelle quali però sempre si riscontra che ove eran gli angoli, si dirigono in dentro alla vena fluida i filetti, e ne risortono dalla parte opposta, dando luogo a delle costole nella vena corrispondenti ai lati del poligono, e a degli incavi corrispondenti agli angoli: e tanto più queste costole della vena fluida opposte agli angoli si fanno salienti, quanto sono gli angoli più acuti. Laonde un triangolo formerà un getto la cui se-

zione rappresenta una stella (Tav. III. fig. 11) A a tre raggi: un quadrato darà un getto con sezione B a quattro raggi, un' ellisse lo darà ad ellisse rovesciata C. E poichè la pressione atmosferica, e la viscosità del liquido impedisce che i filetti si disuniscano, ne vengono dopo un certo tratto a sbassarsi i rilievi; si forma un nodo come una sezione contratta, e si sollevano i rilievi ove prima erano gli incavi per un altro tratto, dopo il quale torna ad invertirsi nuovamente la figura della vena fluida, e più volte seguono queste inversioni, per il principio che all' equilibrio non si ritorna, che per una serie di oscillazioni. Quando il carico è grande, più distanti sono questi nodi, e più elevati sono i rilievi. È stato da Poncelet e Lesbros disegnata la forma di una vena che esciva da un' orifizio quadrato AE (Tav. III. fig. 12) del lato $0^m,20$ sotto il carico $1^m,68$, e la figura *a b c d e f g h* rappresenta la sezione a $0,^m15$ di distanza dal foro, l'altra *a' b' c' d' e' f' g' h'* la dà alla distanza di $0,^m30$. Questa è stata ritrovata la sezione più piccola, e la sua area era a quella dell'orifizio nel rapporto di 0,562 : 1; mentre il rapporto della portata reale alla portata teorica del foro era di 0,605 : 1.

60. *Efflusso sotto molto piccoli carichi*. — Noi vediamo per le leggi sopra stabilite che la divergenza dei filetti deve produrre un grande effetto quando si hanno ben piccoli carichi. Osservando il fenomeno in un foro fatto alla base orizzontale di un vaso, si scorge che l'ordinaria vena fluida si fa sempre più conica, a misura che scema il battente, e per gradi passa ad un' altra E, la quale chiamiamo *secondaria* (Tav. III. fig. 11.) che con i suoi lati presenta due curve somiglianti a parabole che abbiano il vertice allo spigolo della luce. Allora si forma come un' imbuto vuoto entro alla vena fluida, sopra al luogo ove corrisponde il foro, ed in seguito questo si prolunga anche all'esterno, e perciò non può più ritenersi che il foro getti a piena bocca. Quando il foro è in una parete verticale egualmente per un piano inclinato, accorrono i filetti ad esso, e si ha inoltre che il filetto di media pressione non è quello del centro del foro, come vedremo in seguito, e come può ritenersi quando il carico è grande.

61. *Contrazione della vena*. — Abbiamo detto di sopra la cagione fisica della contrazione della vena, ora conviene che si valuti questa contrazione per sapere come influisca sulla portata dell'efflusso. È chiaro che i filetti fluidi andando raccolti fino al punto della sezione *a b* (Tav. III. fig. 13) contratta, si ha fino a quel punto come prolungato il vaso. Deve ritenersi come aggiunta all'altezza del carico anche la distanza verticale C D (suppongo che il foro A B sia nel fondo del vaso, e il getto sia verticale, e non orizzontale come lo mostra questa figura) del centro di questa sezione dal centro dell' orifizio, e deve porsi invece della luce dell' orifizio la sezione contratta della vena. L' aggiunta che si fa al carico essendo circa il raggio del foro, aumenterebbe di una minima quantità la portata, ma di maggior quantità diminuisce la differenza, che è tra la sezione contratta e la luce. Quindi un coefficiente di contrazione ci indicherà nella pratica questo effetto, e ci farà correggere la formula teorica della portata. Questo con più esattezza potrebbe dirsi coefficiente d' efflusso perchè

come si è veduto (59) non combina il rapporto tra la sezione del foro e quella contratta, con l'altro tra la portata teorica e la portata sperimentale. Per conoscere questo coefficiente, si confronterà la portata teorica della quale fra poco stabiliremo la formula, con la portata che si ottiene sperimentalmente sotto diversi carichi, e con differenti luci. Ecco a quali resultati hanno condotto le esperienze che il Dott. Peri ed io abbiamo eseguite.

Una legge esiste per l'ampiezza dalla luce, ed una per l'altezza del carico. Stabiliamo prima la legge per l'altezza de' carichi. Abbiamo fatte esperienze sopra a fori rettangolari con egual base e differente altezza, e sovra fori di diverse forme, ma questi fra loro equivalenti in area; ed ecco i coefficienti di contrazione che ne abbiamo avuti. Ho notato anche le differenze fra i coefficenti ottenuti sotto diversi carichi per dedurne la legge.

	VALORE DEL COEFFICIENTE *per il carico di*					ACCRESCIMENTO preso dal coefficiente *passando dal carico*			
	$1^m,30$	$0^m,975$	$0^m,65$	$0^m,325$	$0^m,050$	1,30 al 0,975	0,975 al 0,65	0,65 al 0,325	0,325 al 0,050
Rettangolo alto $0^m,02$ e in base . . . . $0^m,05$	0,6174	0,6222	0,6323	0,6521	0,6917	0,0048	0,0101	0,0198	0,0396
idem . . $0^m,035$	0,6200	0,6249	0,6350	0,6550	0,6975	0,0049	0,0111	0,0200	0,0431
idem. . . $0^m,02$	0,6213	0,6272	0,6387	0,6626	0,7137	0,0059	0,0115	0,0239	0,0501
idem . . . $0^m,01$	0,6257	0,6328	0,6463	0,6750	0,7353	0,0071	0,0135	0,0287	0,0603
idem . . $0^m,003$	0,6634	0,6730	0,6921	0,7303	0,8102	0,0096	0,0191	0,0382	0,0799
idem . . $0^m,001$	0,7822	0,7937	0,8109	0,8627	0,9592	0,0115	0,0252	0,0458	0,0965
Circolo del diametro $0^m,0225$	0,6150	0,6203	0,6316	0,6534	0,6989	0,0053	0,0113	0,0218	0,0455
Esagono regolare equivalente.	0,6056	0,6095	0,6168	0,6341	0,6701	0,0039	0,0072	0,0174	0,0360
Triangolo equilatero equival.	0,6395	0,6451	0,6551	0,6751	0,7246	0,0056	0,0100	0,0200	0,0495
Ellisse equival.	0,6138	0,6186	0,6285	0,6492	0,6918	0,0048	0,0099	0,0207	0,0426
Triang. isoscele equivalente . .	0,6416	0,6465	0,6568	0,6762	0,7203	0,0049	0,0103	0,0194	0,0441
Rettangolo equivalente	0,6472	0,6533	0,6659	0,6893	0,7403	0,0061	0,0126	0,0234	0,0510
Losanga equiv.	0,6327	0,6377	0,6479	0,6679	0,7108	0,0050	0,0102	0,0200	0,0429
Stella a tre canti equivalente . .	0,6525	0,6576	0,6688	0,6907	0,7375	0,0051	0,0112	0,0219	0,0416
Luce fatta a V equivalente .	0,6348	0,6406	0,6520	0,6759	0,7269	0,0058	0,0114	0,0239	0,0510
Fessura ad arco equivalente. . .	0,6465	0,6518	0,6630	0,6851	0,7290	0,0055	0,0112	0,0221	0,0439

Dai numeri delle cinque colonne sugli accrescimenti dei coefficienti si scorge che la stessa legge è seguita in tutte le luci, e mentre può ritenersi che i battenti formino una progressione per differenze, abbiamo che i notati accrescimenti fanno una progressione geometrica di cui la ragione è 2. A tutto rigore sembra che i primi termini di questa progressione difettino un poco, e gli ultimi eccedano, ma è così poca la differenza che per dedurre una regola utile nella pratica giova trascurarla. Pertanto se sono $a\ a'\ a''\ \ldots\ a^n$ i battenti, e d le loro differenze; $c\ c'\ c''\ \ldots\ c^n$ i coefficenti respettivi, e d' la differenza tra i due primi coefficienti, avremo

$$a - a' = d; \quad c' - c = d'$$
$$a' - a'' = d; \quad c'' - c' = 2d'$$
$$a'' - a''' = d; \quad c''' - c'' = 2^2, d'$$
$$\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$a^{n-1} - a^n = d; \quad c^n - c^{n-1} = 2^{n-1} d'$$

la somma delle prime equazioni dà

$$a - a^n = nd$$

la somma delle seconde

$$c^n - c = d' (2^n - 1)$$

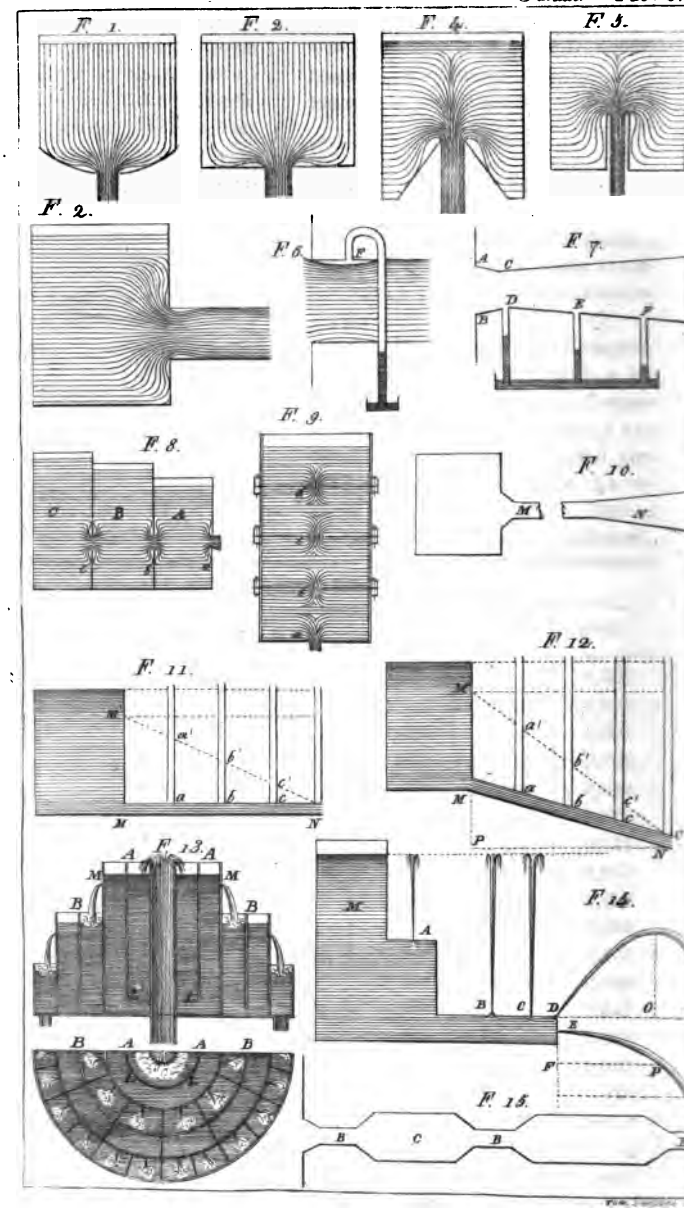
e da questa che dà la legge del coefficente di contrazione, se ne ha uno qualunque c^n espresso coi due primi c' c

$$c^n = c'(2^n - 1) - c(2^n - 2); n = \frac{a - a^n}{a - a'}$$

Questa legge non ha forse molta estensione, come può riscontrarsi nei resultati sperimentali che seguono, ma fa però conoscere come si aumentano i coefficienti al diminuire dei battenti.

La legge che esiste circa l'ampiezza dei fori, non sembra facile a determinarsi. Bella è la serie d'esperienze fatte dai sigg. Poncelet e Lesbros sovra orifizj rettangolari con $0^m,2$ di base, e con altezza che variava da $0^m,2$ fino a $0^m,05$. Ecco i coefficienti di contrazione ottenuti.

CARICHI sul centro dell'orifizio	ALTEZZE DEGLI ORIFIZJ					
	$0^m,20$	$0^m,10$	$0^m,05$	$0^m,03$	$0^m,02$	$0^m,01$
$0^m,01$						0,709
0,02					0,660	0,698
0,03				0,638	0,660	0,691
0,04			0,612	0,640	0,659	0,785
0,05			0,617	0,640	0,659	0,682
0,06		0,590	0,622	0,640	0,658	0,678
0,08		0,600	0,626	0,639	0,657	0,671
0,10		0,605	0,628	0,638	0,655	0,667
0,12	0,572	0,609	0,630	0,637	0,654	0,664
0,15	0,585	0,611	0,631	0,635	0,653	0,660
0,20	0,592	0,613	0,634	0,634	0,650	0,655
0,30	0,598	0,616	0,632	0,632	0,645	0,650
0,40	0,600	0,617	0,631	0,631	0,642	0,647
9,50	0,602	0,617	0,631	0,630	0,640	0,643
0,70	0,604	0,616	0,629	0,629	0,637	0,638
1,00	0,605	0,615	0,627	0,627	0,632	0,637
1,30	0,604	0,613	0,623	0,623	0,625	0,621
160,	0,602	0,611	0,619	0,619	0,618	0,616
2,00	0,601	0,607	0,613	0,613	0,613	0,613
3,00	0,601	0,605	0,606	0,606	6,608	0,609



UNIV. OF MICH.

I carichi erano valutati al di sopra del centro dell'orifizio e perciò nelle precedenti colonne si possono considerare come piccoli (60) per i numeri posti al di sopra del frego traverso. Quindi non potrà ritenersi come sembra resultare da queste esperienze, che il coefficiente di contrazione fino ad un certo punto cresca al crescere de' carichi. Si dirà che sempre scema al crescere de' carichi, e parimente scema al crescere dell'orifizio. Inoltre le differenze tanto per i carichi quanto per gli orifizj sono più grandi quanto i carichi sono minori, e quanto minori sono gli orifizj.

Per avere dei resultati sperimentali anche su luci circolari di differente diametro, intrapresi in compagnia del rammentato Dott. Peri una serie d'esperienze, delle quali ne riporto quelle relative ai soli battenti $1^m,32$; 0^m42. Da queste come dalle altre che ho tralasciate resulta, che il coefficiente è grande ai piccolissimi ed ai molto grandi orifizj, ed ha un valore più piccolo per gli orifizj di media ampiezza.

Ampiezza del Foro	*Coefficiente di cont.* per $a=1,^m32$	*Coefficiente di cont.* per $a=0,^m42$
$5^{mm}73$	0,61662	0,68891
9,62	0,67394	0,72262
21,24	0,56714	0,58735
36,32	0,59124	0,60549
58,09	0,62118	0,63286
84,95	0,63812	0,66984

Oltre l'effetto del carico, e del diametro del foro sulla contrazione della vena, dobbiamo notare quello della figura che ha la superficie del vaso ove è praticato il foro. Per farsi idea del quanto sia da valutarsi l'influenza della superficie del vaso, si ha da notare quanto essa rechi variazione nell'andamento dei filetti fluidi. Quando il foro in lastra sottile è in una parete piana, l'andamento dei filetti convergenti al foro darà luogo (Tav. IV. fig. 2) ad una divergenza per la mezza sfera di attività del foro. Se la superficie è concava la porzione di sfera d'attività del foro, per dove manifestasi la convergenza dei filetti sarà meno che la metà (Tav. IV. fig. 1). Ma quando sia la superficie formata a guisa di imbuto, o semplicemente convessa, crescerà la porzione della sfera nella quale manifestasi la divergenza dei filetti (Tav. IV. fig. 4). Al crescere della divergenza dei filetti deve scemare la portata dell'orifizio, e perciò anche il coefficiente di contrazione. Onde sarà esso maggiore nelle superficie convesse, medio nelle piane, minore nella concava, e minimo quando la sfera di divergenza fosse completa. Borda è giunto a realizzare quasi intieramente questo ultimo caso, col portare il foro nell'interno della massa liquida, (Tav. IV. fig. 5) introducendosi un tubo di latta lungo $0^m,135$, e con diametro $0^m,032$, sotto un carico di $0^m,25$. La vena fluida non toccava le pareti del tubo, ed il coefficiente di contrazione era 0,515.

Da tutto ciò rileviamo adunque, che due limiti esistono sul coefficiente di contrazione, e sono l'uno 0,50, e l'altro 1,00. Per gli orifizj in parete piana d'ordinario non si discenderà al di sotto di 0,60, nè ci si eleverà se hanno un diametro un poco grande al di sopra di 0,70. Nella pratica ordinaria si potrà ritenere per 0,62

ovvero $^1/_8$; e nei casi ove interessa molta precisione consulteremo le tavole, e le leggi sopra riferite.

62. *Portata teorica e reale degli orifizj in lastra sottile* — Conosciuta l'espressione della celerità, è facile dedurre la portata teorica. Infatti è chiaro che in un minuto secondo, escirà dal foro un volume fluido eguale ad un cilindro o prisma, che ha per base l'area s dell'orifizio, e per altezza lo spazio che in questo tempo percorrono le particelle liquide, cioè la loro velocità $\sqrt{2gA}$. Onde la portata teorica sarà $Q = s\sqrt{2gA}$. Riflettendo ora che per la contrazione della vena, non si può ritenere come base del prisma liquido tutta la luce s dell'orifizio, chiameremo m il coefficiente di contrazione e si avrà per la portata reale $Q = ms\sqrt{2gA}$ in metri cubici, che ridotto in kilogrammi è $Q = 1000.^k\, m\, s\sqrt{2gA}$. In un tempo qualunque T espresso in secondi, verrà $Q' = 1000.^k\, m s T\sqrt{2gA}$.

Nella pratica per quello che si è sopra stabilito d'ordinario si userà la formula

$$Q = 1000^k\, 0{,}62.\, s\sqrt{2gA} =$$
$$2740^k\, s\sqrt{A} = 2150^k\, d^2\sqrt{A}$$

ove d esprime il diametro del foro circolare.

È chiaro che il battente A indica tutta l'altezza dovuta alla velocità del liquido, e perciò se il liquido soffrisse una pressione aggiunta (55) e fosse animato da una certa velocità al livello, converrebbe intendere che in A fosse sommata anche l'altezza dovuta a quella pressione, o a quella velocità. Come se anche non si fosse durante l'esperimento avuto costante il livello, e dall'essere al principio l'altezza a fosse alla fine divenuta a', dovremo prendere

$$A = {}^1/_4 (\sqrt{a} + \sqrt{a'})^2$$

Esempio. Quant'acqua escirà in due minuti primi da un vaso che ha un foro circolare del diametro $0,^m05$, e col suo centro al di sotto del livello per $0,^m42$, mentre si mantiene costante il livello giungendovi l'acqua colla velocità di $0,^m7$. L'altezza dovuta a questa velocità è (56)

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{0^m,49}{19^m,6} = 0^m,025$$

dunque il carico sarà

$$A = 0,^m42 + 0^m,025 = 0,^m445.$$

E la portata

$$Q' = 120''.\ 2\ 150.^k\ 0^m,0000.\ \sqrt{0^m,445}$$
$$= 154^k$$

63. *Portata teorica e reale dei medesimi orifizj a carichi molto piccoli* — Realmente il filetto di media pressione non sarebbe mai rigorosamente quello del centro di un orifizio, che sia praticato in una delle pareti verticali del recipiente.

Infatti sia qualunque un'apertura noi potremo supporla divisa in filamenti orizzontali, $b\ b'\ b''$ .... e per ciascuno di essi avremo che la velocità è dovuta ai respettivi carichi $a\ a'\ a''$, onde si avrà che la portata totale sarà

$$Q = 1000^k m\sqrt{2g}(b\sqrt{a} + b'\sqrt{a'} + b''\sqrt{a''} \ldots)$$

questa formula può essere applicata nella pratica, anche considerando le piccole fessure rettangolari b, b', b''.. come di un'altezza sensibile, per esempio di qualche millimetro, ed anche di un centimetro, secondo che è più o meno piccolo il carico.

Nella pratica si hanno ordinariamente per le grandi aperture dei rettangoli, ed allora supposto che la base superiore del rettangolo sia sotto il livello dell'altezza A, che le dimensioni del rettangolo siano B, C e che ogni rettangolo elementare sia B dx, sarà $b\sqrt{a} = B\, dx\sqrt{x}$ e perciò $Q = 1000^k m B\sqrt{2g}\int dx\sqrt{(A+x)}$

$$= 1000^k m B\sqrt{2g}\ {}^2/_3\left((A+C)^{3/2} - A^{3/2}\right)$$

Per comprendere in quali casi interessi l'applicazione di questa formula pongasi $A = 0$: avremo per il caso che il livello combini col principio dell'apertura

$$Q = 1000^k\, m\, B\, C.\ {}^2/_3 \sqrt{2gC}$$

il qual valore sta a quello che si sarebbe ottenuto col valutare il battente al di sopra del centro del foro :: 2,83 : 3. E pongasi $A=C$ avremo per il caso che il livello sopravanzi al foro per l'altezza del foro la formula

$$Q = 1000^k\, m BC.\ 1{,}217 \sqrt{2gC}$$

e starà a quella che valuta il battente sul centro del foro :: 1217 : 1224 cioè è ben piccola la differenza. Tale è però sempre che fatta questa correzione nella tavola di Poncelet e Lesbros (61), si vede sparire l'anomalia che mostrano quei coefficienti circa la legge dei battenti.

Non sarà senza vantaggio nella pratica che io riporti anche l'espressione della portata per la luce circolare del diametro d, quando A è l'altezza dell'acqua al di sopra del centro del circolo

$$Q = 1000^k . \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gA}\left(1 - \frac{d^2}{128A^2} \frac{d^4}{3277A^4} \cdots\right)$$

Oltre tali correzioni per i piccoli carichi occorre scegliere convenientemente il coefficiente di contrazione, e prendere per piano di livello la media tra quello delle particelle liquide prossime al foro, e di quelle lontane (59) quando il livello mostri un'affondamento in prossimità del foro.

64. *Portata degli orifizj che han differente figura.* — Ben piccola differenza mi ha dimostrato l'esperienza esistere tra le portate di orifizj di eguale area e di diversa figura. Pur tuttavolta non ardirei dire che siano precisamente eguali, e crederei che si potesse stabilire esser più grande in quelle figure che più differiscono dal circolo. I seguenti numeri indicano i rapporti che ho avuti nelle portate da orifizj di diversa figura, ed equivalenti. Voglio dire le medie dei rapporti perchè i rapporti effettivi hanno anche maggiori differenze a carichi grandi che a carichi piccoli

Stella a tre canti	1,0585
Rettangolo.	1,0562
Apertura ad arco circolare.	1,0486
Triangolo isoscele	1,0372
Triangolo equilatero . . .	1,0370
Luce fatta a V	1,0360
Losanga.	1,0245
Circolo	1,0000
Ellisse	0,9945
Esagono regolare	0,9738

L'esperienze fatte da Lespinasse e da Pin nel canale di Linguadoca sopra grandi aperture estendono la tavola di Poncelet e Lesbros. La lunghezza dell'apertura era presso a poco di $1^m,30$, la forma non precisamente quella di un rettangolo: eccone i resultati

apertura in metri quadr.	*carico sul centro*	*portata in metri cubi*	*coefficiente di contraz.*
0,7194	$4^m,436$	4,114	0,613
0,6496	$2^m,021$	2,623	0,641
0,6496	1,904	2,496	0,629
0,6007	3,925	3,925	0,641
0,6246	4,141	3,646	0,647
0,6246	1,949	2,377	0,616
0,6246	1,895	2,261	0,594
0,6240	1,975	2,413	0,621

Avevano l'esperienze dell'ingegnere Lespinasse presentato il singolar fenomeno: che avendosi due orifizj vicini influissero l'uno sulla por-

tata dell'altro e la scemasse. Lo che impegnò d'Aubuisson e Castel a ripetere e variare l'esperimento ma non ne trovarono conferma, anzi ottennero che gli orifizj a grandissima vicinanza, e a distanza assai grande, e sotto qualunque carico non influiscono fra loro, e mantengono la stessa portata sia che gettino più ad un tempo o ciascuno separatamente.

65. *Legge sull' abbassamento di livello nei vasi che si vuotano.* — La formula da cui abbiam dedotto la celerità dell' efflusso (57) nei vasi costantemente pieni, ci serve a farci conoscere l'altezza dovuta A' alla velocità nei vasi che si vuotano in confronto di quella A che il liquido conserva entro al vaso. Noi vi porremo il coefficiente m di contrazione, e ci indicherà la regola data da Bernulli

$$A' = A \frac{S^2}{S^2 - m^2 s^2}$$

Abbiamo mostrato però come è ordinariamente trascurabile $m^2 s^2$ in confronto di S^2, ed essendolo in una sezione lo sarà in tutte se il vaso è prismatico o cilindrico, quindi sarà $A'=A$ cioè anche nel vaso prismatico che si vuota in ogni istante, sarà la velocità u proporzionale alla radice dell' altezza che rimane al liquido. Ma anche quando si lancia un grave in aria di basso in alto, è la velocità che li rimane proporzionale alla radice dell'altezza che li resta a percorrere. Dunque l'efflusso del vaso prismatico si fa con moto uniformemente ritardato. Lo stesso accaderà per l'abbassamento della superficie del fluido, la celerità dell' abbassamento essendo a quella dell' efflusso nel rapporto costante della sezione dell'orifizio alla sezione trasversale del vaso prismatico.

Esperienza — Si abbiano tre vasi cilindrici di ugual diametro, e con egual foro nel fondo: il secondo alto quattro volte più del primo, e il terzo nove volte. Si empiano, e contemporaneamente in tutti si lasci aperto il loro foro. Troveremo che mentre cessa di gettare il primo nel secondo è rimasta la sola acqua che serve ad empire il primo, e nel terzo quella sola che basta ad empire il secondo, cioè in tempi eguali e successivi il livello percorre spazi che stanno fra loro come i numeri 5 : 3 : 1. Questo è il carattere del moto uniformemente ritardato.

66. *Clepsidre* — Con l'acqua si possono formare orologi; sia coll'ottenere un getto costante, l'acqua del quale raccolta in vaso prismatico indichi tempi eguali, per eguali sollevamenti di livello; sia coll' ottenere un' abbassamento uniforme nel livello di un vaso che si vuota. Gli orologi della prima classe si formeranno con facilità per mezzo del sifone galleggiante (51).

Perchè il moto di abbassamento nel livello si renda uniforme conviene che decrescano le sezioni del vaso verso il basso nello stesso rapporto con cui decrescono le velocità dell' acqua, cioè come le radici delle altezze del livello. Avendosi adunque un vaso generato dalla rivoluzione di una parabola la cui equazione sia $y^4 = k^3 x$, sarà $s = \pi y^2 = \pi k \sqrt{kx}$, cioè adempita la condizione richiesta, ed esso potrà essere convenientissimo a formare una clepsidra ad acqua. Ancora un vaso di sezione rettangolare con due pareti piane, e due foggiate a parabola ordinaria, darà lo stesso resultato perchè si avrà

$$s = c.\, 2y = c.2 \sqrt{kx}$$

67. *Fressione prodotta dall'acqua in movimento* — È la pressione $P=A$ quando $A=A'$. Perciò nella regola del Bernulli (65) si potrà per approssi-

mazione porre P in luogo di A, purchè si ponga A in luogo di A', ed avremo

$$P = A - \frac{v^2}{2g} \frac{s^2}{S^2}$$

Dunque nelle diverse sezioni la pressione è rappresentata dall' altezza dell' acqua sovrastante, come se fosse stagnante, diminuita di una quantità uguale all' altezza dovuta alla velocità che ha l'acqua in quella sezione, perchè

$$\frac{v.s}{S}$$

è (57) la velocità dell' acqua nella sezione s.

68. *Tempo impiegato dal vaso prismatico per vuotarsi, o per abbassare il livello di una certa altezza.* — Abbassandosi il livello con moto uniformemente ritardato, il tempo che impiegherà per giungere alla fine del vaso sarà doppio di quello che avrebbe impiegato se si fosse abbassato con moto uniforme, colla celerità che aveva al principio del moto ritardato. Questo è quanto dire che il tempo che impiega il vaso prismatico a vuotarsi, è doppio di quello che tutta la sua acqua avrebbe messo ad escire dal vaso quando si fosse mantenuto costantemente pieno. Questo si aveva dalla portata e chiamando B la base del vaso, ed A l'altezza si avrà dunque per il vuotamento totale

$$T = \frac{2B.A}{ms\sqrt{2gA}} = \frac{2B}{ms}\sqrt{\frac{A}{2g}}$$

Per il tempo che metterà ad abbassarsi il livello di una quantità n, posto $n = A - A'$ si dovrà sottrarre dal tempo del total vuotamento, quello che impiegherebbe per vuotarsi quando avesse liquido per la sola altezza A', e perciò sarà

$$T' = \frac{2B}{ms\sqrt{2g}}(\sqrt{A} - \sqrt{A'})$$

Esempio — Si abbia un bacino prismatico con sezione orizzontale quadrata di $0^m,975$ per lato, e con un foro circolare in basso del diametro $0^m,0271$. Sia ripieno d'acqua fino all'altezza $3,^m79$ sopra il centro dell' orifizio; si domanda il tempo che il livello porrà ad abbassarsi di $1^m,30$ al contare dall' atto in cui si apre l' orifizio

$$B = 0^m,975 \times 0^m975 = 0^{mm},9506;$$

$$S = \pi\,(0,0136)^2 = 0,000577$$

$$A = 3^m,79 \quad A' = 3^m,79 - 1^m,30 = 2^m,49$$

ed m presa nel quadro di Poncelet (61) sarà $= 0,61$. Onde

$$T = \frac{2.\,0,9506}{0,61.0,000577\sqrt{2g}}(\sqrt{3,79} - \sqrt{2,49})$$

$$= 450'' = 7',\,30''$$

Bossut operando con i dati precedenti ha ottenuto dall' esperienza

$$7'.\,25'',5.$$

Può la precedente formula combinata col resultato sperimentale, servire alla determinazione del coefficiente m, ed allora non si ha l'incomodo di mantenere costantemente pieno il vaso. Coll' avvertenza per altro di non lasciare avanzare troppo il livello verso il fondo, o nella sfera d'attività dal foro, perchè la formula dedotta dalla dottrina del moto lineare, o del parallelismo degli strati, non può essere applicabile al caso dei filetti divergenti, e a tutte le altre diversità che mostra il moto, quando il battente è piccolissimo.

69. *Portata dei vasi che si vuotano.* — Dalla precedente formula si rileva quella della portata di acqua nel tempo t per i vasi prismatici

$$Q = B(A - A') = tms\sqrt{2g}\left(\sqrt{A} - \frac{tms\sqrt{2g}}{4B}\right)$$

per ridurla da metri cubi in kilogrammi si deve moltiplicare il secondo membro per 1000^k.

In questa formula, il tempo non deve superare quello del vuotamento

altrimenti si hanno dei resultati sempre minori per tempi più grandi ed anche negativi.

Nel caso che si abbiano vasi non prismatici, e si voglia la loro portata: si potrà riguardare il vaso come diviso in strati orizzontali non molto grossi, e per la formula del precedente paragrafo si calcolerà il tempo che si impiega a vuotare i successivi strati. Allora si vedrà quanti di quelli strati si vuotano nel tempo assegnato, e perciò quanta è la portata dell'acqua.

CAPITOLO IV.

Del moto dell'acqua nell'efflusso dei vasi composti.

70. *Dei fori in lastra grossa.* — La grossezza della lastra in cui è praticato il foro rende il vaso composto giacchè è come se vi si fosse aggiunto all'orifizio un cannello lungo quanto la grossezza della lastra. Tal grossezza vuole però valutarsi in rapporto al diametro del foro, per cui anche le più sottili lastre possono comparir grosse per fori di un millimetro d'apertura, e le più grosse come sono ancora le soglie di pietra possono aversi per sottili rapporto ad aperture di più metri. Per un foro del diametro $0^m,0147$ non ho avuto alcuna differenza dall'usare una lastra grossa $0^m,002$, o assottigliarne il bordo riducendolo tagliente. Io non mi trattengo sù questo soggetto e solo accennerò che quando la grossezza della lastra supera la distanza della vena contratta si ha da riguardare il foro come corredato di un tubo cilindrico. È per questo che ad un rettangolo che aveva in base un solo millimetro e in altezza due centimetri, ho trovato sotto un carico di $0^m,05$ un coefficiente di contrazione di 0,9592 sebbene la lastra fosse assottigliata a taglio, in carichi più grandi ha dato una contrazione maggiore, ma sempre però piccola perchè il coefficiente era 0,7822 anche al carico $1^m,3$.

71. *Quando sia in parte soppressa la contrazione.* — Allorchè l'orifizio rimane al basso di una parete verticale, e a contatto col fondo del recipiente resterà in quel punto soppressa la contrazione della vena, e per conseguenza l'erogazione dell'acqua sarà più considerevole. Con aggiustare nell'interno del recipiente lungo i lati del foro delle lastre può togliersi qual porzione piace di contrazione. Il Prof. Bidone ha fatte esperienze di questo genere sopra fori rettangolari e sovra fori circolari. Ha trovato che in entrambi si aumenta la portata in proporzione che a maggior parte di perimetro vien tolta la contrazione, ma più ne primi che ne secondi, e che quando si chiude il perimetro per toglier la total contrazione si ha un brusco aumento di portata. D'onde si conclude che il fenomeno dello sgorgo per tubi interi, non è più della medesima specie di quello ove è tolta una porzione della contrazione. Chiamando n la porzione di perimetro ove è tolta la contrazione nel quadrato, ha ottenuto che si aumenta la portata nel rapporto di uno a $1+0,152n$, e nel circolo nel rapporto di uno a $1+0,128n$.

Tubi addizionali

72. *Tubo addizionale cilindrico.*

Perchè i tubi addizionali aumentino la portata, conviene che gettino a piena bocca. Accade sempre così quando la lunghezza del tubo è di due o tre volte il suo diametro: se è minore la vena fluida nel contrarsi si stacca dalle pareti particolarmente quando il carico è grande. Il coefficiente di riduzione della portata teorica alla portata reale presenta poche variazioni. Io riporterò alcuni resultati sperimentali sù tubi circolari della lunghezza di 0,040 e del diam. 0,0155 ottenuti da Castel, e tubi quadrati con lato $0^m,081$, e lunghi 0,216 da Michelotti.

carico	*coefficienti*	*carico*	*coefficienti*
circolari		quadrati	
0,20	0,827	2,18	0,815
0,48	0,829	3,80	0,803
0,99	0,829	6,71	0,803
2,00	0,829		
3,03	0,830		

Il medio adunque del coefficiente può dirsi 0,82, e stabiliremo la formula per la portata di tali tubi

$$Q = 0,82 . s \sqrt{2gA} = 3,63 . s \sqrt{A}$$
$$= 2,89\ d^2 \sqrt{A}.$$

Per spiegarci il fenomeno dei tubi addizionali dobbiamo ammettere che accada la contrazione della vena come per l'avanti al principio del tubo. Al di là del punto della contrazione l'azione capillare tra le pareti e la vena fluida, fa sì che aderendo i primi strati alla superficie interna del tubo, son poi tirati gli altri di strato in strato, cosicchè la vena fluida passa con maggior celerità dalla sezione contratta. Quasi per una forza di aspirazione si aumenta la celerità nel punto della sezione contratta, ma non tanto che disponendosi poi il fluido per tutta la sezione del tubo, non rimanga la velocità nell'egresso minore di quella che si aveva per l'altezza del carico, e perciò ne resta i soli 0,82.

73. *Pressione negativa del liquido contro le pareti del tubo.* — A conferma di questa spiegazione può dirsi che egual portata si avrebbe se si facesse una strozzatura nel tubo al suo principio, tale da imitare la sezione della vena contratta. Come anche può riferirsi il fenomeno della pressione negativa che si ha nel tubo al luogo della vena contratta: se ivi si adatta un tubo (Tav. IV. fig. 6) che peschi in un vaso di acqua, si vede sollevarsi il liquido in esso tubo come per aspirazione, e mantenersi costantemente elevato a tale altezza, che mostra di quanto la pressione atmosferica sul livello del vaso supera questa in quel punto; onde producesi l'acceleramento della vena fluida. Se anche si pongono più tubi a diversa distanza dall'orifizio si scorge che le pressioni negative si fanno tanto più piccole quanto più da quello ci si allontane (Tav. IV. fig. 7). Se uno di tali tubi rimarrà aperto, entrerà da quello aria, la quale escendo dal foro d'efflusso diminuirà la sua portata.

74. *Tubo addizionale conico convergente.* — Questi tubi aumentano la portata ancora più dei cilindrici, danno getti regolarissimi, e li lanciano ad una più gran distanza o altezza. Onde a preferenza d'ogni altro sono usati nella pratica. I loro effetti sono variati perchè cangiano coll'angolo di convergenza, e cangia non solo la portata quant'anche la velocità. Noi abbiamo insegnato come può misurarsi la portata, diremo in appresso come può misurarsi la velocità col mezzo della parabola che forma il getto. Intanto

ritenghiamo che chiamata s la sezione del tubo all'egresso, $n\,s$ la reale sezione della vena fluida alla contrazione, che segue un poco avanti all'apertura del tubo; e detta v la velocità dovuta all'altezza del carico, ed $n'\,v$ quella che ha luogo nel getto; la portata dell'acqua sarà $ns.\,n'\,v = nn'sv$. Si tratta di rilevare dall'esperienza i due coefficienti nn', n' della portata, e della velocità. Le esperienze fatte da Castel sopra tubi conici lunghi $0^m,040$, e col diametro d'egresso 0,0155; con diverso angolo di convergenza, con diversi carichi, ci svelano le più interessanti conclusioni. Eccone i resultati

Angolo di convergenza		*coefficiente della*	
		portata	*celerità*
0°	0′	0,829	0,830
1	56	0,866	0,866
3	10	0,895	0,894
4	10	0,912	0,910
5	26	0,924	0,920
7	52	0,929	0,931
8	58	0,954	0,942
10	20	0,938	0,950
12	4	0,942	0,955
13	24	0,946	0,962
14	28	0,941	0,966
16	36	0,938	0,971
19	28	0,924	0,970
21	0	0,918	0,971
23	0	0,913	0,974
29	58	0,896	0,975
40	20	0,869	0,980
48	50	0,847	0,984
carico		.....	.....
$0^m,215$		0,946	0,963
$0^m,483$		0,9.6	0,966
$0^m,992$		0,946	0,963
$1^m,492$		0,947	0,966
$2^m,006$		0,946	0,956
$3^m,003$		0,947	

1.° Per un medesimo orifizio e sotto un medesimo carico a partire da 0,83, la portata reale va sempre aumentando a misura che l'angolo di convergenza aumenta fino a 13° 1/2 (anche altre esperienze sopra tubi con apertura del diametro $0^m,02$ han mostrato allo stesso numero di gradi il limite d'ingrandimento) ove il suo coefficiente è 0,95, al di là di quest'angolo diminuisce e tende a divenire quello che si aveva per i fori in lastra sottile ove giungerebbe a 180°.

2.° I coefficienti della celerità si vedono crescere come quelli della portata fino verso 10°, quindi l'accrescimento si fà più rapido tendendo al limite, ove è moltissimo avvicinato anche a 40°.

3. Dividendo i coefficienti di portata nn' per quelli di velocità n' si avranno quelli n di contrazione esterna che sono = 1 fino a 10°, ma dopo van facendosi più piccoli per avvicinarsi a quelli della contrazione nel caso del foro in lastra sottile.

4.° Il variare de' carichi non porta variazione nel coefficiente di portata, e forse non lo porterebbe neppure in quelli di velocità se non fosse l'effetto della resistenza dell'aria sempre crescente per i carichi grandi.

Esistono anche tre esperienze fatte da Lespinasse sopra grandi bocche a tronco di piramide rettangolare o *buses*, che servono a dar l'acqua alle ruote idrauliche, le quali diedero quasi la portata teorica, cioè

portata	$0^{mmm},1916$	coeffic.	0,987
„	0,1895	„	0,976
„	0,1901	„	0,979

Tenga ora il tubo costante la sua sezione all'imboccatura nel vaso e vada decrescendo l'altra all'esterno qual sarà la sua portata? Conosciuto

l'angolo c di convergenza, la lunghezza l del tubo, e il suo raggio r all'imboccatura; si sa che la sezione estrema del tubo sarà $\pi\ (r-l \text{ sen } c)^2$. Il coefficiente di riduzione può approssimativamente aversi dalla precedente tavola; onde rimarrà facile dedurne la portata, ed anche si potrà osservare che una convergenza sebben piccola è capace di rendere la portata minore di quella dei tubi cilindrici.

75. *Tubo addizionale conico divergente.* — Fra tutte le cannelle che possono usarsi ad una determinata luce praticata nella parete di un recipiente, questa è quella di maggior portata. In questa l'effetto dell'attrazione delle pareti sul liquido è tale, da produrre un'acceleramento maggiore nell'ingresso nel tubo. Se la divergenza sia grande, o si prolunghi in modo il tubo da aver molto estesa la sua apertura, non getterà il tubo a piena bocca. Scema la celerità a misura che più ampia si fa la sezione della vena fluida all'egresso dal tubo: ma questo scemare della velocità è in proporzione minore dell'aumento di sezione, onde si ha più grande la portata. I resultati sperimentali che ora riporto furono ottenuti dal Venturi.

Il tubo aveva all'imboccatura una forma presso a poco simile a quella della vena contratta, cioè il diametro AB = 0^m,0406 e in CD = 0^m,0338, il corpo del tubo (Tav. IV. fig. 7) C D E F variava in lunghezza e in divergenza. L'efflusso si faceva sotto il carico di 0^m,88. Venturi da queste esperienze concluse, che per quanto le dimensioni abbiano a variare col carico sotto quello soprariferito, il tubo di maggior portata doveva avere una lunghezza eguale a 9 volte il diametro dalla piccola base, e di divergenza 5°, 6′. Questo dà una portata 2,4 volte più grande dell'orifizio in lastra sottile, e 1,46 volte più grande della portata teorica. Si misura l'effetto della sua forza attraente dal sollevamento dell'acqua nei tubetti che partono dalle sue pareti.

Dalle esperienze d'Eytelwein si deduce l'effetto della lunghezza di un tubo cilindrico M, N (Tav. IV. fig. 10) solo, ovvero unito ad un'imboccatura in forma della vena contratta, ovvero terminato in un tubo divergente della forma che il Venturi propose come il migliore. Il diametro del tubo cilindrico è 0^m,026, il carico medio 0^m,73. Noi torneremo su questo soggetto, riportando altre esperienze fatte dal Prof. Sereni, quando si parlerà del moto per i tubi.

diverg.	*lunghezz.*	*coefficien.*	*getto*
3° 30′	0^m,111	0,93	
4 38	0,354	1,21	irregolare.
4 38	0,460	1,21	non a piena bocca.
5 44	0,176	1,02	
5 44	0,059	0,82	id.
10 16	0,264	0,91	id.
10 16	0,045	0,91	irregolare.
14 14	0,045	0,61	staccato.

lunghezza	*coefficiente per il tubo*		
	cilin.	*imboec.*	*agg.div.*
0,001	0,62		
0,026	0,62	0,96	
0,078	0,82	0,94	1,11
0,314	0,77	0,87	0,97
0,628	0,73	0,80	0,91
0,942	0,68	0,74	0,84
0,255	0,65	0,69	0,76
1,569	0,60	0,65	0,70

Dei vasi comunicanti

76. *Vuotamento di un vaso che riceve un afflusso da altro recipiente.* — Mentre entra in un vaso minor quantità d' acqua di quella che sorte dopo un tempo più o meno lungo, accade il vuotamento. Influisce sù questo tempo non solo la quantità d' acqua che entra nel vaso, ma anche la celerità con cui vi giunge e la sua direzione. Poniamo che questa celerità non si aggiunga, poichè sappiamo come si modificherebbero le formule per la di lei aggiunta (56); cioè affluisca l' acqua con velocità orizzontale, e senza produrre rigurgiti. Sia q il volume dell' acqua che affluisce in $1''$, e ritengano le altre notazioni qui usate, i valori che gli abbiamo per l' avanti assegnati. Il tempo in cui nel vaso cilindrico dal quale sorte l' acqua, si porta il livello dall' altezza A all' altezza A', è

$$T = \frac{2B}{(ms\sqrt{2g})^2}\left\{ ms\sqrt{2g}(\sqrt{a}-\sqrt{a'}) + 2{,}303\, q \log \frac{ms\sqrt{2gA}-q}{ms\sqrt{2gA'}-q}\right\}$$

Come in questa formula si scorge differenza dall' altra del numero 68 solo per l' aggiunta del termine logaritmico, il quale sparisce quando cessi l' afflusso g; così può intendersi qui ripetuto tutto quello che ho detto dell' applicazione dell'altra formula, ed anche per l' uso di vasi non cilindrici.

Esempio. — Uno stagno ridotto alla forma prismatica, ha 3600^{mm} di superficie, e $3^m{,}5$ di profondità: è alimentato da un ruscello che somministra $0^{mmm}{,}95$ d' acqua per secondo. L' apertura, impostata al fondo, quando la saracinesca è del tutto levata ha $1^m{,}10$ di larghezza e $0^m{,}60$ di altezza. Si domanda il tempo in cui lo stagno avrà ridotte le sue acque all'altezza di $1^m{,}2$. (Non suppongo a minore altezza per poter tener conto sempre dell' altezza dell'acqua al di sopra del centro dell' apertura) Avremo $A = 3^m{,}50 - 0^m{,}30 = 3{,}20$; $A' = 1^m{,}20 - 0^m{,}30 = 0^m{,}90$;

$$s = 1^m{,}10 \times 0^m{,}60 = 0^{mm}66;$$

$B = 3600^{mm}$; $q = 0^{mmm}{,}95$; $m = 0{,}70$; e per conseguenza

$$ms\sqrt{2g} = 2{,}0462;\ \log \frac{ms\sqrt{2gA}-q}{ms\sqrt{2gA'}-q} = \log \frac{2{,}7105}{0{,}9904} = 0{,}4362603$$

onde il tempo domandato sarà

$$T = \frac{2.\,3600}{(2{,}0462)^2}\left\{ 2{,}0462(\sqrt{3{,}2}-\sqrt{0{,}9}) + 2{,}303.\ 0{,}95.\ 0{,}4363 \right\}$$

$$= 4591'' = 1^\circ.\ 16'.\ 31''.$$

76. *Contrazione della vena per i getti nell' acqua.* — Dietro alcune esperienze di Daniel Bernoulli si è fino ad ora ritenuto che il coefficiente di riduzione della portata sia lo stesso tanto nel caso che l' efflusso si faccia nell' aria, quanto allorquando succede nell' acqua. Io non ho lasciato di consultare l' esperienza anche sù questo interessante soggetto, e sebbene non abbia completato il lavoro che mi propongo di farvi, credo utile accennare qui che una differenza io ho trovata fra i due coefficienti di contrazione, o di efflusso. Questa mi mostra essere quello dell' efflusso nell' acqua soli 0,9 circa dell' altro (61) che si è rammentato per l' efflusso nell' aria. Mi hanno ajutato nelle esperienze i sigg. Dottori Cianni e Cocchi; abbiamo fatto vuotare fino ad un certo punto un vaso da diversi fori scolpiti in lastra sottile prima nell' acqua, e poi nell' aria; si è tenuto ben cura che il battente quando il getto si faceva nell' aria fosse eguale alla differenza di livello che si aveva tra l' acqua

esterna al vaso, e l'acqua interna quando il getto succedeva nell'acqua, la quale differenza io chiamo battente libero. Ecco i resultati

diametro del foro	battente libero	tempo per il getto nell'aria	tempo per il getto nell'acq	rapporti tra tempi
$0^m,00_2$	$0^m,495$	14'.47"	15'.50"	0,954
0,003	0,450	10. 55	11. 19	0,964
0,005	0,450	3. 42	3. 55	0,944
0,006	0,438	2. 16	2. 38	0,861
0,007	0,530	2. 7	2. 28	0,858

78. *Livellazione in due vasi comunicanti per un piccolo orifizio.* — Suppongo che un vaso C (Tav. IV. fig. 8) comunichi coll' altro B per mezzo dell' orifizio c di area s; ed essendo il primo pieno fino all' altezza A, l'altro avendo il liquido alto per A' nell' atto che si principia a contare il tempo: domandasi quando in ambedue sarà il liquido livellato. Sieno S, S' le respettive sezioni dei vasi che suppongo di costante estensione. Il tempo cercato sarà

$$T = \frac{2.\,S..\,S'}{ms(S+S')}\sqrt{\frac{A-A'}{2g}}$$

Suppongasi che sieno ambedue i bacini di grandissima ampiezza, e che si possa ritener come costante la differenza di livello A—A'; la quantità d'acqua che in un dato tempo passerà dal bacino C nel bacino B sarà

$$Q=ms\sqrt{2g(A-A')}=0{,}565s\sqrt{2g(A-A')}$$

Ho adottato entro all'acqua il coefficiente di contrazione ridotto colla regola rammentata di sopra (77).

Se il vaso C è tenuto costantemente pieno, il tempo che la superficie del fluido impiega ad elevarsi nel secondo vaso dall' altezza A' all' altezza A", sarà espresso dalla formula

$$t = \frac{2\,S'}{ms\sqrt{2g}}\left[\sqrt{A-A'}-\sqrt{A-A''}\right]$$

ed il tempo che impiegano i vasi a livellarsi

$$T = \frac{2\,S'}{ms}\sqrt{\frac{A-A'}{2g}}$$

così il tempo che il vaso B impiega ad empirsi combina con quello che il vaso stesso impiegherebbe a vuotarsi (68) da un'eguale orifizio.

Nel caso che il secondo vaso cambi di sezione è facile accorgersi che si potrà intender diviso in strati, e si potrà supporre che si abbia per ciascuno strato la sezione costante. Allora si rileverà il tempo del livellamento dalla somma dei tempi che impiega il livello a passare per tutti gli strati. Ciascuno di questi tempi sarà dato dalla penultima formula.

79. *Efflusso da un vaso che comunica con altro vaso.* — Ritenute le notazioni del precedente paragrafo, supporremo che sia anche nel vaso B un foro b dal quale sorta il liquido nell' aria mentre il primo vaso si mantiene costantemente pieno. Il liquido escirà da b (la cui sezione indico con s') colla celerità dovuta all'altezza del liquido che è nel vaso B. Ma questa se i vasi sono livellati, o quasi livellati varierà per i primi tempi essendo difficile che tanto di liquido dia il foro c quanto ne esce da b. La celerità del foro c non può essere che dovuta alla differenza dei livelli dei due vasi. Sbassando dunque il livello di B dopo un certo tempo si porrà costantemente di una certa quantità più basso che nel vaso A. Allora la velocità dell' efflusso sarà

$$v = \sqrt{\frac{2gA}{1+\frac{s^2}{s'^2}}}$$

Quando dunque la sezione dei due orifizj è eguale si avrà l'altezza del-

l'acqua nel secondo vaso metà di quella nel primo, e perciò la velocità sarà

$$v = \sqrt{gA}$$

Siano ora tre vasi contigui A, B, C comunicanti per i fori c, b. Il primo sia mantenuto sempre pieno e dalla luce a dell' ultimo sgorghi l'acqua liberamente, e la differenza di livello dal primo al secondo sia p, dal secondo al terzo q, e la total differenza h, avremo

$$s\sqrt{p} = s'\sqrt{q} \qquad p + q = h$$

Questa stessa analogia, che indica soltanto esser l' acqua che esce da un vaso eguale a quella che esce dall'altro quando i livelli sono ridotti a permanenza, avrà luogo qualunque sia il numero dei vasi.

È da notarsi che i livelli si stabiliscono indipendentemente dalle grandezze delle sezioni de' vasi.

80. *Considerazioni relative alla pratica.* Quest' ultima osservazione, la quale potrebbe egualmente farsi per il caso che il liquido escisse dai vasi per emissari a flor d'acqua, ne guida direttamente per la pratica a concludere che l'ampiezza dei bacini, stagni o gore, poco influisce sulla permanenza del loro livello. Comunque grande o piccolo sia il bacino che riceve gli scoli delle compagne che lo circondano, mentre manda le acque al mare con un' emissario stabilirà il livello permanente dipendentemente dalla acqua affluente, combinata con quella che si smaltisce sia per l'emissario sia per mezzo dell'assorbimento, o della evaporazione. Tranne adunque l'effetto dovuto all' assorbimento ed all'evaporazione, il livello permanente del bacino non cambierà se per qualche causa venisse a ristringersi o ad ampliarsi la sua estensione. Io non suppongo che debba un tal bacino agire da recipiente, come sarebbe se in qualche tempo venisse chiuso l'emissario, giacchè in tal caso la estensione di esso potrà recare effetto considerabile.

Sibbene influisce nella posizione del livello permanente la quantità d'acqua d'ingresso o di egresso, e perciò se la prima di queste cresca o scemi, salirá o si abbasserà il livello permanente, e la durata del sollevamento o abbassamento prima che si sia il livello reso stabile ad altra posizione è proporzionale all'estensione del bacino (78).

81. *Dell' orizzontale di demarcazione, ed uso che se ne fa nella pratica.* — Dal salire il livello alla massima altezza A più presto nel bacino piccolo che in quello grande, ne viene che, quando si hanno i due bacini sottoposti ad alternative di aumento di sorgenti, il minore resta per maggior tempo che il maggiore coperto dalle acque fino ad A. Se le sorgenti diminuiscono, cominciano contemporaneamente ad abbassarsi i due livelli, e si porta più presto alla bassa posizione A′ quello del vaso piccolo che l' altro del grande: onde in questo livello A′ resta più lungamente bagnato il bacino grande che il piccolo. Tra i due livelli estremi A, A′ dovrà esservene uno intermedio in cui l'acqua si mantiene per egual tempo tanto per l'uno che per l' altro bacino: questo si suol chiamare linea di demarcazione. L' altezza di questa è tale che l'acqua impiega in ciascun recipiente il medesimo tempo tanto per salirvi quando parte dal basso livello permanente A′, quanto per discendervi allorchè abbandona il livello superiore A: lo che dà il mezzo di potere ritrovare sperimentalmente la orizzontale di demarcazione.

Ora per le pioggie accadono delle alternative nelle piene, e queste portano con gli interri ed escavazioni una diminuzione od un'aumento nell'estensione dei bacini che servono agli scoli. Siccome in ogni periodo di piena se il bacino è ampliato l'acqua dimora per più breve tempo al di sopra della orizzontale di demarcazione, e per maggior tempo al disotto, ne seguirà che guadagneranno di felicità tutti gli scoli che hanno la foce più alta di quella orizzontale, e scapiteranno quelli che l'hanno più bassa. Il contrario accaderà se il bacino si sia ristretto. Simili osservazioni posson farsi in quei laghi ove può accadere un sollevamento di acque per essersi impedita l'apertura dell'emissario: se non che in questo caso l'inalzamento dell'acqua come ho detto di sopra dipende anche dall'ampiezza del lago. In generale stabiliamo che allargandosi i recipienti gli scoli influenti guadagnano se sono alti e scapitano se sono bassi, e viceversa diminuendo l'estensione dei recipienti si rendono più felici gli scoli bassi, e meno quelli alti.

82. *Efflusso dai vasi costantemente pieni interrotti da diaframmi.*— Colla seguente teoria intendiamo compresi tutti quei recipienti nei quali la sezione cangia da un punto all'altro di una quantità finita. Si può ottenere uno di tali vasi anche avendo un vaso cilindrico (Tav. IV. fig. 9) formato di più pezzi da fermarsi l'uno all'altro col mezzo di viti; sia che questi pezzi abbiano differente diametro, o che avendo tutti egual diametro resti separato l'uno dall'altro col mezzo di un setto nel quale è praticato un foro. Noi per fissar l'idea indicheremo con S, S', S'',.. la sezione dei successivi pezzi del cilindro, con s, s', s'', ... le sezioni dei fori esterno ed interni ordinatamente. Ben si scorge che quando è ripieno il vaso sia che esso si mantenga costantemente pieno, o che si vuoti per l'efflusso che si ha dal foro esterno s, non potrà escire in un dato tempo più acqua da esso foro di quella che ne somministri ciascuno dei fori interni. Quando si mantiene il vaso costantemente pieno in modo che tra il foro esterno e il livello esiste l'acqua all'altezza A, si ha la celerità d'efflusso

$$v=\sqrt{\frac{2gA}{1-\frac{s^2}{S^2}+\left(\frac{s}{s'}-\frac{s}{S'}\right)^2+\left(\frac{s}{s''}-\frac{s}{S''}\right)^2+\text{ec.}}}$$

Essendo le aree dei fori piccolissime in confronto a quelle delle sezioni del cilindro si ridurrà la formula della velocità

$$v=\sqrt{\frac{2gA}{1+\frac{s^2}{s'^2}+\frac{s^2}{s''^2}+\ldots}}$$

La velocità dipende solo dall'intera altezza nel vaso composto, e dalla proporzione che è tra l'ampiezza dei fori.

Si deduce da queste formule che l'intervallo fra un diaframma e l'altro non influisce punto sulla velocità dell'efflusso.

L'essere i fori nei centri dei diaframmi o distanti da questi centri non fa variare la velocità.

L'esperienza conferma queste conclusioni.

83. *Efflusso dai vasi suddetti quando si vuotano.* — Vuotandosi il vaso viene il livello a passare per i successivi diaframmi; e quindi levansi essi d'azione, uno dopo l'altro. Onde le velocità che abbiamo veduto scemare al crescere del numero dei diaframmi si troveranno spesso più grandi, quando il diaframma è passato, di quello che aveansi avanti,

sebbene il livello fosse più alto. Siano (per comprendere questo resultato) tutti i fori eguali; siano quattro i diaframmi compreso il fondo del vaso, e ad eguali distanze della sommità del vaso $^1/_4$ A, $^1/_2$ A, $^3/_4$ A, A, La velocità a vaso pieno sarà $\sqrt{\frac{gA}{2}}$

in prossimità del 1° diafram. $\sqrt{\frac{3.\,gA}{8}}$

subito passato il 1° diafram. $\sqrt{\frac{gA}{2}}$

in prossimità del 2° diafram. $\sqrt{\frac{gA}{3}}$

subito passato il 2° diafram. $\sqrt{\frac{gA}{2}}$

in prossimità del 3° diaframm. $\sqrt{\frac{gA}{4}}$

subito passato il 3° diafram. $\sqrt{\frac{gA}{2}}$

Deduciamo da ciò che, avendosi un vaso interrotto da diaframmi eguali ed equidistanti, la celerità ritorna la stessa, ogni volta che è dal momento passato il diaframma, e corrisponde a quella dovuta all'altezza totale del vaso divisa per il numero de' diaframmi compreso tra questi il fondo del vaso. Tra un diaframma e l'altro questa velocità scema, e tanto più quanto maggiormente ci si avvicina al fondo del vaso. Questo brusco passaggio da una celerità all'altra, e questo ritornar sempre a periodi la celerità primitiva dà un grazioso fenomeno allorchè si fa uscire l'acqua zampillante in alto. Infatti inalzandosi lo zampillo a proporzione della velocità si vede esso come a periodi risorgere, ed abbassarsi sempre maggiormente alla fine di ogni periodo, per poi ridursi nullo alla fine dell'ultimo.

84. *Considerazioni relative alla pratica.* — Si comprende dalle cose precedenti quanto ancora nei fiumi possa un ristringimento prodotto in una sezione diminuire tutta la velocità nel corso di essi, e viceversa quanto si aumenterà la velocità della corrente se tolgonsi gli irregolari ristringimenti nelle sezioni. Vero è che nei fiumi le resistenze che si hanno lungo il loro letto diminuiscono gli accrescimenti di velocità, ed il moto si riduce di una non gran velocità, onde se i ristringimenti delle sezioni non sono notabilissimi, i loro effetti si fanno piccoli, compensandosi in gran parte con un aumento di velocità (57) nel luogo della sezione ristretta, e con un corrispondente sollevamento nel pelo dell'acqua in quel punto. Tale diminuzione di effetto che si ha nei ristringimenti che si estendono per pochissimo tratto della lunghezza dell'alveo, come sarebbero quelli causati dai ponti, non si ha da estendere egualmente a quelli prolungati per esteso tratto, poichè il loro effetto tanto è più sensibile su tutto il corso del fiume quanto il ristringimento si estende maggiormente.

Io parlo di ristringimenti prodotti oltre la regolare sezione dei fiumi, non di quelli che si fanno ove la sezione è ampliata al di là di quello che chiede la regolarità. Questi ultimi ristringimenti si direbbero piuttosto rettificazioni della sezione del fiume, e portano un'effetto utile sulla corrente. Poichè le materie, che si hanno trasportate dalla corrente più celere nei luoghi di minor sezione, vengono depositate in quelli di sezione allargata, ed ivi si fanno dei ridossi, delle isole, delle divisioni di correnti, delle corrosioni nelle sponde ec.

Delle acque zampillanti

85. *Teoria generale dei getti ver-*

ticali di acqua — La teoria Torricelliana ammettendo che il liquido sorte da un vaso colla celerità dovuta all'altezza del livello sull'orifizio, e risalendo per la celerità acquistata i gravi all'altezza da cui son caduti, ne viene che rivolta in alto l'apertura dell'orifizio con un tubo aggiunto, o con una particolar configurazione dal vaso (Tav. IV. fig. 14), il getto sorgerà all'altezza del livello dell'acqua nel recipiente.

Il moto delle particelle che compongono il getto, come quello dei gravi, sarebbe uniformemente ritardato se non si aggiungesse la resistenza dell'aria. Quindi si raggrupperanno sempre più le particelle dell'acqua nei getti verticali salienti, mentre in quelli discendenti si disgiungono: gli uni sempre più ingrosseranno in alto, come gli altri si assottigliano in basso: gli uni andranno raccolti escludendo l'aria fra di loro mentre gli altri dopo breve tratto perdono la trasparenza.

Giunto il getto alla sua massima elevazione quasi tutto ad un tratto si allarga e si ripiega combinandosi la forza d'espansione con quella di gravità e formando una paraboloide ricade all'intorno del getto.

86. *Altezza reale de' getti verticali.* — Diverse cagioni impediscono al getto di inalzarsi quanto è il carico dal quale proviene. La resistenza dell'aria ne è la principale, il suo effetto non è grande finchè il getto ha un'altezza minore di un metro, ma cresce con molta rapidità alle altezze maggiori. Si aggiunge che questa resistenza fa separare dei filetti fluidi. La caduta degli strati superiori, dopo che si è estinta la loro velocità, sopra quelli sottoposti, nuoce assai all'elevazione; ed infatti con una leggera inclinazione del getto si ha anche maggiore altezza. Queste sono le cause generali alle quali altre si aggiungono dipendenti dalla particolar forma dell'apparato. Se invece di avere un foro in una lastra orizzontale si avranno al foro uniti dei tubi addizionali, o se il foro invece di essere prossimo al recipiente ne sia lungi coll'intermedio di tubi: in questi casi si possono avere sbassamenti notabilissimi.

Mi propongo di parlar qui solo delle cagioni generali dello sbassamento del getto, e conviene ricorrere all'esperienza per conoscere il complesso del loro effetto. Su grossi getti l'effetto di queste cagioni deve essere minore che sovra i piccoli, a cagione della loro maggior massa.

sperimentatori	*diametr. dell' orifizio*	*Altezza del carico*	*Altezza del getto*
Bossuet	$0^m,018$	$5^m,57$	$3^m,42$
„	$0^m,0045$	„	$3^m,26$
Mariotte	0,0155	7,93	7,42
„	0,00226	1,46	1,30
„	„	4,55	3,56
„	„	8,80	6,56

Si può ritenere per approssimazione che sieno le diminuzioni inversamente proporzionali ai diametri dei fori.

Ha pure sperimentato Mariotte con un recipiente cilindrico del diametro $0^m,325$ al quale aggiungeva per la parte inferiore un tubo del diametro $0^m,081$, la cui lunghezza ha spinto fino a 20^m. L'estremità ne era ricurva, e ricopriva l'apertura con lastre munite di fori con differenti diametri. Ecco sei resultati avuti da esse con un foro del diam. $0^m,0155$ ai quali ne è aggiunto uno ottenuto da Bossut.

Altezza del carico	Altezza del getto	diminuzione	quadrati dei carichi
11m,50	10,39	1,110	132,25
11,35	10,30	1,056	128,82
8,48	7,87	0,609	71,91
7,93	7,42	0,515	62,88
4,01	3,90	0,108	16,08
1,79	1,75	0,034	3,20
3,57	3,42	0,149	13,74

Si vede dalla tavola che le diminuzioni sono prossimamente proporzionali ai quadrati dei carichi e perciò si può l'altezza reale esprimere

$$A' = A - 0{,}01\ A^2$$

87. *Effetto dei tubi addizionali.* — I getti da foro circolare in lastra sottile son quelli che hanno altezza massima, e maggior nitidezza nella loro vena fluida. Meno sodisfacienti sotto questi due rapporti sono quelli che si ottengono da un tubo addizionale cilindrico: diminuiscono (72) la celerità di egresso nel rapporto di 1 : 0,82 e per conseguenza le altezze de' getti come i quadrati di questi numeri, o di 1 : 0,67. Inoltre i filetti fluidi che compongono il getto si sparpagliano, e l'acqua non mostra il getto chiaro. I tubi addizionali conici avendo coefficienti di contrazione (74) da 0,83 a 1, daranno altezze che saranno tra 0,69, e 1 di quelle dovute agli orifizj in lastra sottile, ed i loro getti sono uniti e trasparenti al loro egresso.

88. *Effetto dei tubi di condotta.* — A misura che è più lungo il tubo che conduce l'acqua all'orifizio si hanno maggiori resistenze, le quali in appresso insegneremo a calcolare, e diminuiscono la velocità e per conseguenza l'altezza del getto. Anche la proporzione tra il diametro dell'orifizio, e quello del tubo influisce sull'altezza del getto, poichè è da questa proporzione che si determina la velocità dell'acqua corrente nel tubo nel tempo che ha luogo il getto. Questa velocità non dovrebbe superare 0m,3 per 1". Il Prony dietro resultati sperimentali ha dedotto, che quando il rapporto tra il diametro d del tubo, e la sua lunghezza L non sorpassa un centesimo, ed il diametro è più grande di un centimetro, si può usare la formula

$$v = 26{,}79\ \sqrt{\frac{d\,A}{L}}$$

La quale si accorda con l'esperienza anche per condotti lunghi 2280m. Nella pratica occorrendo di determinare il diametro del tubo che dia la portata di M metri cubici per 1", si otterrà

$$d = 0{,}1865\ \sqrt[5]{\frac{L\,M}{A}}$$

89. *Getti inclinati all'orizzonte.* — Il Bossut avendo leggermente inclinato l'apparato che li dava il getto verticale impedì che ricadesse sugli strati sottoposti, e ridusse l'altezza di questo da 3m,42 a 3m,47 — Questo sollevamento ottenuto in pratica mostra che nelle piccole inclinazioni è più l'aumento che si ha nell'altezza del getto per avere evitate delle resistenze, che la diminuzione dovuta alla curva. Del resto è certo che come i gravi lanciati obliquamente, così l'acqua dovrà descrivere (fatta astrazione dalla resistenza) una parabola. La curva descritta dal getto D (Tav. IV. fig 14) è infatti una parabola sotto carichi di uno o due metri, ma per carichi maggiori perde in elevazione ed in ampiezza, non però tanto che l'errore resultante dal supposto di un' esatta parabola possa portare a gran conseguenza. Sia n il coefficente della velo-

cità dipendente dal tubo addizionale che si è usato (per il foro in lastra sottile si ha $n = 1$) cosicchè si abbia $n^2 A$ per il carico dovuto alla velocità v. E chiamando i l'angolo d'inclinazione della direzione del getto, prendendo l'orizzontale DO per asse delle ascisse, e si avrà per l'equazione della parabola

$$y = x \, tang \, i - \frac{x^2}{4n^2 A \, cos^2 i}$$

Si cerca la più grande elevazione OI che io designo con e, e la ampiezza DG che accenno con a. Posto nell'equazione $y =$ o si ha

$$a = 4 n^2 A \, sen \, i \, cos \, i = 2 n^2 A \, sen \, 2 i$$

La massima ampiezza è a 45°. E sostituendo nell' equazione in luogo di y la metà di questo valore, si ha

$$e = n^2 A \, sen^2 i$$

scema l'altezza del getto in proporzione del quadrato dal seno, ed a 45° è metà di quella del getto verticale. Il parametro del diametro corrispondente al punto di partenza è

$$4 n^2 A \, (cos^2 i + sen^2 i) = 4 n^2 A$$

cioè quadruplo dell'altezza dell'acqua da cui dipende la velocità di projezione.

Siccome dividendo l'elevazione per l'ampiezza si ha

$$\frac{e}{a} = {}^1/_4 \, tang \, i$$

l'angolo d'elevazione è dato dal rapporto tra l'elevazione e l'ampiezza.

90. *Getti orizzontali.* — La parabola che ha per parametro quattro volte l'altezza dovuta alla velocità è la curva descritta dal getto, e se ne ottiene l'equazione da quella precedente facendovi $i = o$, cioè

$$x^2 = 4n^2 Ay$$

Di questa parabola (Tav. IV. fig. 14) si sogliono valere nella scienza per conoscere la velocità dei getti. Misurata l'ascisse EF e l'ordinata FP se ne deduce $n^2 A$, e v.

91. *Deduzioni per la pratica, e scherzi idraulici.* — Si trae profitto della proprietà che lo zampillo più grosso sorge a maggiore altezza quando si vuol circondare il getto principale di una fontana con altri getti più bassi che li facciano corona.

Se vuolsi che il getto arrivi alla maggior altezza possibile si dovrà lasciar libera la sua luce avendo cura che la lastra in cui è scolpita sia sottile e con orlo affilato.

Se il getto dovesse esser piuttosto massiccio che alto, si userà un tubo addizionale cilindrico o poco convergente per ridur più netto lo zampillo.

Le lastre curve che portano dei fori nella loro estensione manderanno gli zampilli sempre normali agli elementi loro ove sono forate. Così possono aversi delle gerbe di zampilli divergenti con superfici convesse, e convergenti con superfici concave.

Ad aumentare eleganza ai getti potranno usarsi i fori ellittici e triangolari (59).

La viscosità dell'acqua fa che si possano ottenere belle lame e veli liquidi. Facendo escire un getto orizzontale per una larga fessura formata dai bordi avvicinati di due concave lastre di piombo si ha un'estesa lama di acqua in forma parabolica. Lasciato cadere un getto verticale sovra un bottone o piccola lastra orizzontale si forma un velo liquido in guisa d'ellissoide. — Se il bottone è alquanto più esteso ed il carico del getto è più grande si apre il velo in forma d'ombrello con linee raggianti, e cerchi concentrici che col continuo palpito rendono graziosissimo il fenomeno.

Diretto un raggio di luce in una

camera oscura entro la massa liquida cosicchè n' esca dal vase insieme col getto liquido orizzontale: vedesi la luce seguitare l'andamento del liquido, e comparire tutto il getto illuminato. Anche questo fenomeno, che dipende dalle leggi ottiche, può essere usato con vantaggio nell' arte.

CAPITOLO V.

Del moto dell' acqua per i tubi, e per i canali scoperti.

92. *Analogia tra i tubi, i condotti aperti, e i vasi.* — Parlo dei condotti prima che dei canali per l' analogia che essi mostrano con i vasi o recipienti de' quali sin qui tenni discorso. Entri nel tubo MN (Tav. IV. fig. 12) l'acqua che ha il carico MM'. Per la forza acceleratrice di gravità correndo nel canale, se nessuna resistenza incontrasse, acquisterebbe velocità giunta in N come se fosse caduta dall' altezza MP del canale. Onde astrazion fatta da qualunque ostacolo l' acqua sortirà da N con una velocità dovuta all' altezza MM' + MP. Questa pressione sull' ingresso del condotto unita all' altezza del condotto stesso è quel che si chiama *carico del condotto*.

Differiranno sostanzialmente i tubi dai recipienti quando sono aperti all' estremità C per tutta la loro sezione poichè accelerandosi sempre per la gravità relativa il moto lungo il tubo, e non potendo escire che una determinata quantità d'acqua dalle prime sue sezioni, deve il tubo nelle sezioni più basse ridursi non pieno, e farsi più piccole le pressioni contro le pareti di esso.

Sotto l' impero di una tal forza il moto ne' tubi dovrebbe accelerarsi continuamente, e nell' ostante se poca è la pendenza ad una piccola distanza dalla loro origine esso diviene sensibilmente uniforme. Al di là di questa distanza le resistenze opposte dalle pareti de' tubi contrabbilanciano la forza acceleratrice.

Vi sono anche nei condotti, come nei recipienti, quelli semplici, e quelli composti. Sono i primi formati da una lunga fila di tubi di ugual diametro, congiunti esattamente l' uno all' altro; i secondi resultano da sistema di condotti, o anche da un sol condotto ma di diverso diametro in alcune delle sue parti, o tutto di egual diametro ma con delle gomitate o svolte.

Moto dell' acqua ne' tubi.

93. *Espressione della resistenza de' condotti rettilinei.* — Il valore della resistenza si deduce dal carico che vien sottratto a quello che si ha realmente. Sia A il carico del condotto, e v la velocità che vi acquista l' acqua quando si è stabilito il moto uniforme: avremo

$$A - \frac{v^2}{2g}$$

per la misura cercata. Per ottenerne l' espressione convien riflettere che nasce questa resistenza dall' aderenza che hanno le particelle liquide con quelle del condotto, e da quella che han fra di loro. Quanto più estesa sarà la superficie del condotto, altrettanto crescono i punti di aderenza. Ma in ogni sezione l' aderenza col condotto si reparte per tutto lo strato liquido che in quella esiste a cagione del legame che è tra particella e particella. Dunque

deve la resistenza essere in ragion diretta della superficie interna del condotto, ed inversa dell'area della sua sezione. Inoltre tanto più è celere l'acqua tanto maggior numero di particelle han da vincere in un dato tempo l'aderenza del tubo, e con tanta maggior prontezza l'han da vincere onde maggior forza si consumerà: quindi l'espressione della resistenza conterrà un termine col quadrato della velocità, ed uno colla velocità semplice. E indicando con L la lunghezza del condotto, con S la sua sezione, e con C il di lei perimetro, e con a, b due costanti, potremo esprimerla con la formula

$$A - \frac{v^2}{2g} = a\frac{CL}{S}(v^2 + bv)$$

Ben si comprende che l'accennata teoria è alquanto vaga principalmente circa al principio che ha portato per divisore la sezione S, e perciò dovremo in seguito consultare l'esperienza, ed a quella attenerci.

Molti han lavorato per la determinazione delle costanti a, b noi prenderemo i valori fissati dalle esatte osservazioni di Couplet, cioè

$$A - \frac{v^2}{2g} = 0{,}0003425\frac{CL}{S}(v^2 + 0{,}055v)$$

E per i condotti circolari in luogo della circonferenza e della sezione sostituendo il diametro D abbiamo

$$A - 0{,}0\,51\,v^2 = 0{,}00137\frac{L}{D}(v^2 + 0{,}055\,v)$$

Non essendo d'ordinario data la velocità ma la portata in un secondo $Q = {}^1/_4\,\pi\,D^2.\,v$ potrà qualche volta tornare utile rimpiazzarla con questa ed usar la formula

$$A - 0{,}08264\frac{Q^2}{D^4} =$$

$$0{,}002221\frac{L}{D^5}(Q^2 + 0{,}0432\,QD^2)$$

Per le grandi velocità si può trascurare il termine che ha la velocità alla prima potenza, e secondo l'esperienze di Couplet si può adottar la formula

$$A - 0{,}08264\frac{Q^2}{D^4} = 0{,}002326\frac{LQ^2}{D^5}$$

94. *Portata dei tubi e ricerca di altri loro elementi.* — Preso il valore della portata Q dalla precedente equazione generale si ha

$$Q = -\frac{0{,}0216\,LD^2}{L + 37{,}2\,D}$$
$$+\sqrt{\left[\frac{450{,}2AD^5}{L+37{,}2D} + \left(\frac{0{,}0216\,LD^2}{L+37{,}2D}\right)^2\right]}$$

Nei lunghi condotti ove 37,2D è quantità molto piccola rapporto ad L, si potrà ridurre

$$Q = -0{,}0216D^2 + D^2\sqrt{\left(\frac{450{,}2AD}{L} + 0{,}0216\right)}$$

Da queste espressioni della portata si può dedurre quella della velocità, dividendola per la sezione del tubo, e dall'ultima trascurato il primo termine, ed il secondo tra quei sotto il radicale, si ottiene la formula del Prony (88.) sopra riferita. Con egual facilità o da queste formule, o dall'equazione generale della resistenza si deducono il carico A, e la lunghezza L del tubo, perchè non vi entrano che linearmente; un poco più difficile rimarrà dedurre il diametro D del tubo, ma per una prima approssimazione, si può prendere il valore che viene dall'equazione della portata a lunghi condotti come sopra ridotta, che è

$$D = 0{,}339\sqrt[5]{\frac{LQ^2}{A}}$$

e se la velocità è piccola rimarrà questo valore troppo più piccolo del vero, e per approssimarsi a quello si tenteranno nell'equazione generale dei valori a gradi a gradi maggiori di questo.

95. *Resultati sperimentali.* — Il modo di fare queste esperienze è il seguente. Sotto un dato carico

si faccia correr l'acqua per un tubo cilindrico di dato diametro e di data lunghezza, e si misuri l'acqua che ne esce in un determinato tempo. Questa portata divisa per il tempo in secondi, e per la sezione darà la velocità. Si varj a piacere ora il carico, ora il diametro, ora la lunghezza del tubo, e si scorgerà come al variare di ciascuno di questi tre elementi varj la velocità. Conosciuta la velocità si dedurrà l'altezza che li sarebbe dovuta, e la differenza tra questa e il carico effettivo sarà la resistenza cercata. Nei tubi di diametro assai grande per l'esperienze di Dubuat non resulta differenza al variare la materia di cui è composto il tubo.

Diciotto esperienze eseguite da Dubuat sovra un tubo di latta di diametro 0,^{m}027 e lungo 20^{m}: ventisei esperienze di Bossut sù tubi egualmente di latta di diametri 0,^{m}027; 0^{m},036, e 0^{m},054 la cui lunghezza variava da 9,^{m}74 a 58,^{m}47: sette esperienze fatte sovra i grandi condotti del parco di Versailles che avevano per diametro 0,^{m}155 e per lunghezza 2280: un'esperienza con tubo del diametro 0,^{m}49 e lungo 1169^{m}: servirono tutte queste esperienze a Dubuat per calcolare

$$a = 0{,}0003485, \quad b = 0{,}0498$$

Noi abbiamo presi i valori assegnati a queste costanti da Couplet perchè mentre sono pochissimo da questi distanti avvicinano la formula delle resistenze de'tubi a quella che dovremo fissare per i condotti aperti. Calcolando con questa (94) le portate in dieci millionesimi di metro cubo, ecco le differenze che si hanno co' resultati sperimentali ottenuti dal chiarissimo Prof. Sereni, le quali mostrano non molto difettosa la formula anche per i tubi di piccolo diametro, ma più adattata per quelli di diametro assai grande. Da queste esperienze deducesi ancora che il gettare il tubo nell'acqua anzichè nell'aria, e per conseguenza l'effetto dell'atmosfera all'imboccatura, non porta sensibile differenza. Sovra tubi orizzontali lunghi 10^{m} e del diametro 0,01612.

battenti	portata teorica in 1"	Portata in 1" nell'aria	Portata in 1" nell'acqua
0,^{m}2792	1229	1350	1381
0,5584	1641	1766	1755
0,8376	2006	2090	2100
Della stessa lunghezza e del diametro 0,03722.			
0,2792	9382	9180	9190
0,5584	13246	13050	13050
0,8376	16234	16030	16082
Sovra tubi orizzontali lunghi 5^{m},2 e del diametro 0,01612			
0,2792	1611	1729	1808
0,5584	2268	2505	2575
0,8376	2780	3224	3150
Della stessa lunghezza, e del diametro 0,03722			
0,2792	12249	12260	11300
0,5584	18384	17140	16145
0,8376	22539	21025	19560

Eytelwein ha creduto dovere assumere

$$a = 0{,}000280 \qquad b = 0{,}0821$$

L'esperienze di Bossut con un tubo orizzontale del diam. 0,^{m}056 e lungo da 10^{m} a 58^{m},5 sotto un carico ora di 0^{m},325 ed ora di 0^{m},65: le esperienze dello stesso autore col tubo del diam. 0^{m},036: quelle di Dubuat con un tubo orizzontale del diam. 0^{m},027, lungo da 0,^{m}65 a 20^{m} sotto diverso carico: e le esperienze del Dubuat fatte sù tubi molto angu-

sti cioè dei diam. $0^m,0065$, $0^m,0045$, $0^m,0034$ con diverse lunghezze e diversi carichi, hanno mostrato, e particolarmente quest'ultime, al Venturoli che la resistenza dei tubi non segue la ragione inversa dei diametri (ciò resulta anche dalle esperienze del Sereni, come rilevasi dalla tavola sopra riportata), e che molto fedelmente rappresenta tutti i notati risultamenti sperimentali l'equazione

$$^2/_5 A = \left(1 + \frac{0,00086\,L}{D^{1,274}}\right)\frac{v^2}{2g} + \frac{0,0004}{D^{0,5}} L v$$

Per verità io non ho ritrovato molto sodisfacenti i resultati che si ottengono da questa formula, neppure per gli stretti tubi. Consultando però l'esperienza, mi è sembrato che avesse motivo il Venturoli di non ammettere la ragione inversa del diametro, ma non dovesse adottare il coefficiente di contrazione $^2/_5$ all'imboccatura del tubo. Dalla formula

$$A - \frac{v^2}{2g} = \frac{L}{D^{0,5}}\left(0,0058.v^2 + 0,00165.v\right)$$

non solo verrebbero assai fedelmente rappresentati i miei resultati sperimentali come vedesi nell'appresso tavola, ma anche quelli del Sereni sarebbero resi meno inesattamente che dalla formula di Couplet.

	Battente sul centro del tubo	*Portata sperim. per 1"*	*Por. data dalla formula*
Lunghezza del tubo $8^m,14$; *diam.* $0^m,0255$.	$0,^m08475$	$0,^k163$	0,162
	0,15675	0,245	0,259
	0,22875	0,297	0,298
	0,30075	0,354	0,348
	0,37275	0,403	0,393
	0,42375	0,428	0,422
Lunghez. $8^m,5$ *diam.* $0^m,037$.	0,1635	0,663	0,668
	0,2355	0,797	0,824
	0,3075	0,979	0,956
	0,3795	1,070	1,077
	0,4305	1,172	1,155

Per meglio comprendere l'effetto dello stretto diametro sulle resistenze, giova rammentare che la viscosità differente, e l'adesione per la materia del tubo, che l'acqua acquista a diversa temperatura, sono capaci a dare per tubi molto stretti, e quasi capillari, differentissime velocità. Le esperienze di Girard hanno portato a stabilire per tali tubi

$$a v = \frac{g D . A}{4 L}$$

ove a indica un coefficiente che tanto più si avvicina ad esser costante per una determinata temperatura quanto è più stretto il tubo. Per un tubo d'ottone l'acqua essendo a 12.° assume i valori 0,0023; 0,0027 essendo i diametri $0^m,00183$, $0^m,00296$. Per un tubo di vetro, è questo coefficiente circa tre volte più piccolo, scema al crescere della temperatura; e per l'alcool è anche maggiore, sebbene abbia quel liquido maggiore fluidità. L'adesione colle pareti è la forza che predomina nei tubi sottilissimi: scema questa e cresce l'effetto della coesione delle particelle fluide all'aumentare del diametro: e nei tubi grossi solo quest'ultima influisce per la resistenza.

96. *Effetto dei tubi addizionali posti all'estremità dei condotti.* — Allorquando all'estremità del tubo sia una chiave, o una qualche altra cannella addizionale convien riprendere la formazione dell'equazione generale delle resistenze, e porvi non la velocità d'egresso ma quella che ha il liquido nel tubo, la quale facilmente si deduce per la legge del Castelli, che le velocità stanno in ragione inversa delle sezioni.

È chiaro che ancora in questo caso onde tali tubi faccian variare la portata militano le stesse ragioni che si sono esaminate parlando de' va-

si (74. 75). Solo minore sarà il loro effetto a misura che più grande si rende la lunghezza del condotto. Il Prof. Sereni ha fatto esperienze sù questo soggetto applicando all'estremità del condotto tubi divergenti che ne aumentavano l' apertura allo sbocco, ed ha sempre avuto aumento di portata, quando poteva ottenersi un getto a piena bocca. Crescendo il battente crescono gli aumenti di portata. Eccone diversi resultati ottenuti in dieci millionesimi di metro cubo per 1" con tubo del diam. 0^m,03722; da questi si comprende la causa dell'antica legge romana, che vietava ampliare la bocca de tubi sino alla distanza di metri 14,765, che corrisponde a 50 piedi antichi di Roma. La prima colonna contiene le portate del tubo cilindrico senza aggiunta che in parte abbiamo anche sopra riferite.

lunghez. de' condotti e battenti	*portate con un diametro allo sbocco di*		
	0,03722	0,05583	0,07444
lu. $1,26^m$	a piena bocca	a piena bocca	non a piena b.
0,2792	16320	23700	22600
0,3584	23700	32160	31500
0,8376	25500	40320	40680
lu. $5,20^m$			
0,2792	12260	13700	12925
0,5584	17140	19920	18200
0,8376	21025	25030	24860
lun. 10^m			
0,2792	9180	9560	9560
0,5584	13050	13860	13860
0,8376	16030	17360	17220
Lo stesso tubo inclinato alla verticale per 60.° e sotto il battente 0,2792			
lun. 1^m26	31230	44100	44750
„ 5,2	40090	45375	46832
„ 10^m	40117	44390	44555

97. ***Resistenza de' tubi ricurvi, o colle gomitate.*** — Sebbene i corpi solidi che scendono per una curva non perdano di quella velocità che avrebbero acquistato scendendo per l' altezza della curva, non può questo principio ammettersi nei liquidi che corrono per i tubi ricurvi. Le particelle più prossime all'asse del tubo sono dirette contro la parete curva e vengono riflesse da quella, o dalle altre particelle liquide a quella prossime con angolo eguale a quello d' incidenza. La perdita di velocità che si avrà per media nei diversi filetti, sarà minore di quella che si ha nel filetto centrale, e più grande di quella sofferta dai filetti prossimi alle pareti. Che questa perdita sia piccola lo rileviamo da un'esperienza di Bossut. Prese egli un tubo del diam. 0^m,027 e lungo 16^m,24, lo distese orizzontalmente e in linea retta, e sotto un carico di $0,^m325$ ottenne in un minuto $0^{mmm}02084$. Dipoi lo piegò in serpeggiamenti in modo da farli fare sei curve bene arrotondate, ed ottenne allora $0^{mmm}02040$. Pure moltiplicando e facendo più sentite le curvature la diminuzione si fa assai notabile. Rennie usò un tubo di piombo di diametri 0^m,0127 e lungo 4^m57, in situazione orizzontale retto, e con un carico di $0,^m305$; ottenne $0^{mmm}0544$ in 1". Piegatolo in 15 concavità e convessità a semicerchio con raggio 0^m,095, ne ebbe $0^{mmm}0484$.

Dubuat per determinare la legge di tale resistenza adoprò differenti tubi sulle prime rettilinei sotto un determinato carico, e dipoi piegati per modo, che il filetto centrale tendesse a fare angoli di riflessione, di grandezza e numero determinato, ed aumentò il carico finchè la portata non fosse quella che si aveva nella

disposizione rettilinea. Le differenze fra i due carichi era evidentemente la resistenza delle svolte. Fece così venticinque esperienze, tra le quali sette sono eseguite con un tubo del diam. $0^m,0271$, e lungo $3^m,167$ ed ottenne

num. e valore degli angoli	*velocità dell' acqua*	*Resist. delle svolte*	*coefficiente ottenuto*
1 36°	2,300	0,0203	0,0111
2 36°	2,300	0,0406	0,0111
3 36°	2,300	0,0674	0,0123
4 24,57	2,300	0,0406	0,0111
10 36	1,939	0,1598	0,0123
4 36	1,572	0,0444	0,0130
4 36	0,794	0,0111	0,0127

Collo stesso diametro del tubo, e colla lunghezza di $19^m,95$ tenendo sempre quattro svolte ciascuna di 36° sotto una velocità di 0,776 ha ottenuto per resistenza 0,0106 e per coefficiente 0,0127. In altre tre esperienze usò un tubo di diam. 0,0541 lungo $6^m,91$ ed ottenne

4	36°	2,336	0,0785	0,0099
4	36	1,590	0,0360	0,0103
5	36	2,356	0,2339	0,0124

Da tutte le sue esperienze Dubuat concluse, che la resistenza delle svolte è proporzionale al quadrato della velocità del fluido al numero degli angoli di riflessione, e al quadrato del lor seno. In questa ipotesi il coefficiente non varia che dentro stretti limiti, e può ritenersi 0,0123 per modo, che se v è la velocità $n, n' \ldots$ i numeri degli angoli di una medesima grandezza, $i, i' \ldots$ le grandezze respettive, s^2, la somma de' quadrati de' seni il valore di questa resistenza, si esprimerà con una delle seguenti formule

$$0{,}0123\, v^2 (n\, sen^2 i + n^1 sen^2 i^1 + \ldots)$$
$$= 0{,}02\, \frac{Q^2}{D^4}\, s^2$$

Questa legge così semplice par non sia da tenersi come vera in tutti i casi, perchè da alcune esperienze di Bossuet e di Venturi resulta che al farsi l' angolo d' incidenza maggiore di 36.° cresce notabilmente il valore del coefficiente. Quando il diametro del tubo cresce, il coefficiente diviene più piccolo, e quando l' angolo d' incidenza aumenta, diviene il coefficiente maggiore. È stato notato che i serpeggiamenti verticali portino più resistenza che gli orizzontali.

Onde si possano mettere per $i, i' \ldots$ $n, n' \ldots$ i respettivi valori: chiameremo rivolta semplice di un tubo quella nella quale l' asse del tratto rettilineo superiore, incontrando la concavità della parete, ed essendone riflettuto con angolo eguale a quello d' incidenza, imbocca direttamente l' asse del tratto rettilineo inferiore. Se non l' imbocca che dopo due o più riflessioni sarà rivolta composta, e dovrà porsi per $n, n' \ldots$ il numero di queste riflessioni. Se non l' imbocca punto, sarà rivolta irregolare, ed allora porremo per $n, n' \ldots$ quel numero di riflessioni che più avvicinano all' asse, sebbene in tal caso la resistenza si aumenti. Per conoscere il numero delle riflessioni si dividerà il numero dei gradi della rivolta per il numero dei gradi dell' angolo di deviazione. Per avere gli angoli d' incidenza $i, i' \ldots$ si dividerà l' angolo di deviazione per metà se la rivolta è semplice, e se è composta si noterà che il rapporto tra il semidiametro del tubo e il raggio della rivolta, è il seno verso dell' angolo d' incidenza.

98. *Resistenza de' tubi cogli angoli*. — Un' esperienza di Venturi, mostra quanto gli angoli decisi sono più nocivi delle gomitate rotondeggianti. Egli preparò tre tubi del diametro $0^m,033$, lunghi $0^m,38$, uno rettilineo, il secondo con una gomitata di 90° ma leggermente arrotondata, e il terzo con un angolo vivo parimente di 90°. Sotto un carico di $0^m,88$ han ripieno un vaso di $0^{mmm}157$ respettivamente in 45", 50", 70". Il nocivo effetto degli angoli vivi si manifesta anche meglio per le esperienze di Rennie: con un tubo di diam. $0^m,0127$ e lungo $4^m,57$ sotto il carico di $1^m,22$ ha ottenuto in un minuto la portata di

a tubo rettilineo . . . . . $0^{mmm}01188$
con 15 gomitate semicircolari 0,01046
con 1 angolo retto 0,00944
con 24 angoli retti 0,00430

Dunque un solo angolo retto produce più effetto di 15 gomitate semicircolari. Qui pure sembrandomi un vuoto nell' idraulica pratica il non avere neppure una regola per conoscere l' effetto di queste gomitate ad angolo deciso, istituii una serie d' esperienze ajutato dai sigg. dottori Enrico Galli, e Gio. Batt. Donati, e giunsi a riconoscere che la stessa legge fissata dal Dubuat per le svolte curve ha luogo per gli angoli decisi, e solo ne varia il coefficiente il quale ho ritrovato potersi ritenere eguale a 3 diviso per $2g$, per tutti gli angoli come si scorgerà dalla seguente tavola, che fa seguito all' altra (95) essendo le esperienze eseguite con i tubi delle stesse lunghezze e diametri che in quella, e solo piegati. Ivi sono i resultati sperimentali confrontati con quelli dati dalla formula

$$A = \frac{v^2}{2g} = \frac{L}{D^{0,5}}(0,0058.v^2 + 0,00165.v) + 3.\frac{v^2}{2g} sen^2 i$$

Portata per i = 20°		*Portata per i = 45*		*Portata per i = 65*		*Port. per i = 84 1/2*	
sperim.	*teorica*	*sperim.*	*teorica*	*sperim.*	*teorica*	*sperim.*	*teorica*
0,166	0,15626	0,155	0,15215	0,152	0,14561	0,149	0,13689
0,222	0,22678	0,214	0,21950	0,207	0,20934	0,203	0,20521
0,281	0,28270	0,278	0,27281	0,256	0,25995	0,252	0,25658
0,332	0,32612	0,315	0,31850	0,302	0,29422	0,295	0,29654
0,375	0,37297	0,357	0,35876	0,345	0,34151	0,330	0,33589
0,410	0,40057	0,392	0,38510	0,367	0,36622	0,358	0,35818
. . . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . . .	*per i = 78°*	
0,630	0,65115	0,616	0,60558	0,557	0,57360	0,553	0,56156
0,756	0,80218	0,734	0,74426	0,687	0,70533	0,675	0,68911
0,908	0,93176	0,865	0,86530	0,804	0,81586	0,789	0,79935
1,055	1,0475	0,985	0,96920	0,908	0,91548	0,896	0,89646
1,129	1,1484	1,084	1,05850	1,087	0,98165	1,009	0,95863

99. *Resistenza delle strozzature, e dei rigonfiamenti nei tubi*. — Le strozzature prodotte da diaframmi forati mostrano lo stesso effetto dei vasi interrotti da diaframmi (82); quelle che provengono da unioni di tubi

(Tav. IV. fig. 15) di più piccolo diametro danno un'effetto dipendente dagli stessi principj. Non devonsi però giudicare in loro stesse, ma piuttosto relativamente a tutto il tubo, perchè se formano piccola parte del tubo, danno molto minor resistenza che darebbero se ne formassero la più gran parte. Alcune esperienze dei sigg. Venturi ed Eytelwein han mostrato che in un tubo ove le strozzature siano indipendenti l'una dall' altra, cioè separate per tal distanza fra loro, che l'acqua dopo aver superata la prima strozzatura avanti di giungere alla seconda abbia ripresa la velocità propria al tubo stesso, in tal tubo la resistenza prodotta dalle strozzature può esser rappresentata dalla formula seguente: in questa supponesi che il diametro del tubo ai ristringimenti stia :: $1 : l : p \ldots$

$$\frac{v^2}{2g}\left[\left(\frac{1}{l}-1\right)^2+\left(\frac{1}{p}-1\right)^2\ldots\right]$$

Facile è mostrare che questa formula indica il lavoro meccanico perduto. Infatti sia rappresentato dall'unità il peso dell'acqua che esce nel tempo che si considera, e sia v la velocità all' egresso; quella che ha l'acqua nel primo ristringimento, sarà

$$\frac{v}{l} \quad \text{onde} \quad \frac{1}{g}\left(\frac{v}{l}-v\right)^2$$

rappresenta la forza viva perduta, e il lavoro meccanico perduto è

$$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{l}-1\right)^2$$

Quando si tratta di un solo ristringimento in un lungo tubo l'effetto è ben piccolo: d'Aubuisson trovò che diminuita la sezione del tubo col mezzo di una chiave regolatrice nel rapporto di 1 : 0,94 la portata non scemò che di un centesimo.

Qui possiamo mostrare che nei corti tubi, la contrazione agisce come una strozzatura. La diminuzione di ampiezza nel tubo dovrebbe supporsi nel rapporto che indica il coefficiente m di contrazione, e questa darebbe per lavoro perduto

$$\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m}-1\right)^2$$

Ma la metà della forza viva che ha l'acqua nell'escire, è eguale al lavoro meccanico prodotto nell'abbassamento dell'acqua stessa per l'altezza del livello, meno il lavoro perduto, e perciò si ha

$$\frac{v^2}{2g}=1.\,A-\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m}-1\right)^2$$

onde posto $m = 0{,}62$ come suole essere nella contrazione si ha presso a poco conforme al resultato sperimentale (72)

$$v=\sqrt{\frac{2g\,A}{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}}=0{,}85\sqrt{2gA}$$

Anche l'effetto dei rigonfiamenti nei tubi può esser calcolato colla precedente formula. Dopo avere il Venturi in un tubo del diam. $0^m{,}0203$ e lungo $0^m{,}975$ con 5 rigonfiamenti ottenuto una portata di 0,000572, sostituì altro tubo che avesse per tutto il diam. $0^m{,}203$ ed ottenne 0,000926 cioè maggiore di circa la metà del precedente. Nella pratica conviene avvertire anche il danno di tali ampliazioni di tubo perchè d'ordinario si ritengono come non capaci di dare resistenze.

100. *Osservazione per la pratica.*— Molte sono le cagioni che producono resistenze nei lunghi tubi che si usano per le distribuzioni dell'acqua. Esistono delle asprezze nella superficie interna dei tubi; delle inesatte attestature dei tubi che coprono una porzione della loro luce; esistono delle deformazioni nella rotondità del tubo; dei depositi lasciati dalle acque; delle quantità d'aria traspor-

tata dall'acqua ec. e tante altre cagioni che diminuiscono la portata: sicchè mai si trova esser quella teorica eguale a quella che si ha nei lunghissimi condotti, ma molto superiore, ed anche per più di un terzo. Di qui l'uso di alcuni pratici di diminuire di $^1/_5$ il coefficiente numerico della formula, o di aumentare la metà dell'acqua che si propongono di condottare.

101. *Pressione sopra i diversi punti dei tubi.* — Supponiamo un condotto orizzontale e rettilineo MN (Tav. IV. fig. 11) unito ad un recipiente che si mantiene costantemente pieno. Siano in a, b, c dei tubi verticali di cristallo che comunicano col condotto, i quali portano nome *piezometri*. Mentre è chiuso il condotto in N si solleva l'acqua ne piezometri fino al livello del recipiente, e perciò ogni punto del tubo è premuto dall'intero carico. Aperto totalmente il condotto in N, e posto che nessuna resistenza esso opponga esce il liquido con tutta la velocità dovuta al carico: nei piezometri si abbasserà tutto il liquido ed il condotto non soffrirà che la sola pressione atmosferica. Si apra una sola porzione della sezione N del condotto, l'acqua fluirà con la velocità dovuta all'intero carico, ma nel tubo l'acqua si muoverà con tanto minor velocità quanto la sua sezione è più grande dell'apertura. Sia v questa minor velocità ed A il carico, $A - 0{,}051\, v^2$ indicherà l'altezza a cui solleverassi l'acqua nei piezometri, e la pressione nei diversi punti del condotto. E coerentemente al principio del Bernoulli, la pressione dell'acqua in moto in un tubo esercitata contro un punto qualunque della sua parete è eguale al carico su questo punto, meno l'altezza dovuta alla velocità nel tubo. Ora tra le cagioni che riducono la velocità entro al tubo vi è anche la contrazione della vena e la resistenza che oppongono al moto le pareti del tubo. Questa resistenza proporzionale alla lunghezza del condotto andrà crescendo progressivamente dall'origine M fino all'estremità N, che ora supporrò del tutto aperta. Noi sappiamo quanta è in M, e supponiamo ivi di rappresentare la pressione con MM'; condotta la retta NM', avremo in bb', aa'... le altezze a cui l'acqua si solleverà nei piezometri, e le indicazioni delle pressioni per quei respettivi punti dipendentemente dalla resistenza del condotto. In generale la pressione in un punto qualunque di un condotto orizzontale, ove r rappresenta la resistenza provata fin dall'origine del condotto, è espressa da $A - r - 0{,}051\, v^2$

Allorquando il condotto sia piegato, o abbia delle strozzature o dei rigonfiamenti la resistenza non crescerà uniformemente, (98, 99) e i livelli dei piezometri non rimarranno sopra una linea retta.

Consideriamo adesso il caso di un condotto MN (Tav. IV. fig. 12) inclinato. Anche qui allorchè è chiusa l'apertura N la pressione contro le pareti in ogni punto saranno date dalla profondità di quel punto al di sotto del livello del recipiente, e se avremo i piezometri a, b, c si vedrà sollevarvisi l'acqua fino a quel livello (6). Nello stato del moto queste colonne seguiranno diminuzioni per l'effetto delle stesse cause rammentate nel caso precedente, e l'espressione della pressione in ogni punto sarà dato dalla stessa formula, e dall'altezza dell'acqua nei piezometri. Quando è aperta tutta la bocca N, l'acceleramento che l'acqua acquista nel tubo può dare anche

delle pressioni negative, ed allora il tubo non getterá a piena bocca. Ed ancorchè sia per un caso particolare zero la pressione all'apertura N ed MM' rappresenti la pressione al principio del tubo non staranno i livelli dei piezometri secondo la linea retta M'N, ma sempre però le altezze dell'acqua in questi indicheranno le pressioni.

La resistenza provata dall' acqua dopo l'origine del condotto fino ad uno de' suoi punti sarà rappresentata dalla differenza di livello tra la superficie del recipiente, e la sommità della colonna fluida in un piezometro posto sù quel punto., meno l' altezza dovuta alla velocità nel condotto. La resistenza che l'acqua prova da un punto del condotto all'altro, è eguale alla differenza di livello tra le sommità delle colonne fluide dei due piezometri posti sovra quei due punti, se il diametro del tubo ove sta il secondo piezometro è eguale a quello del tubo nel luogo ove è il primo. In caso diverso deve sottrarsi o aggiungersi la differenza tra le due altezze dovute alle celerità respettive, secondochè la celerità sarà nel punto più basso, più o meno grande di quella del punto più alto. Questi abbassamenti nei piezometri indicano le perdite di carico che si fanno per le resistenze e ciò che rimane il carico effettivo. Differisce il carico effettivo dalla pressione come differiscono fra loro queste due formule

$$A-r \qquad A-r-0{,}051.v^2$$

102. *Resistenza nei sistemi di condotti* — Nelle distribuzioni dell'acqua in diversi punti del condotto principale si stabiliscono delle prese d'acqua con de' condotti secondarj, e sù questi si stabiliscono ancora de' condotti di terz'ordine ec. Si tratta di determinare le circostanze del moto dell'acqua nelle diverse parti di un simil sistema. Conviene a tale oggetto conoscere ivi il carico effettivo, e la velocità che vi avrà l'acqua, la quale da quello dipende. Ma il carico effettivo si ha dal carico intero colla sottrazione delle perdite ottenute per effetto delle resistenze fino a que' luoghi incontrate. Onde il problema si riduce a determinare le diverse perdite del carico. Queste provengono 1.° quasi in totalità dalle resistenze, che le pareti de' tubi hanno opposto al moto: 2.° dalla resistenza dovuta alle gomitate: 3.° dal cangiamento di direzione nel moto allorchè l'acqua passa dal condotto principale nelle sue diramazioni: 4. dalle perturbazioni nel moto prodotte dalle prese d'acqua, o erogazioni al principio di ciascuna diramazione. Abbiamo abbastanza parlato delle due prime resistenze, da potere applicare le formule allora stabilite anche ai sistemi dei condotti: ora per completare le dottrine a questi interessanti, fisseremo le regole colle quali devono calcolarsi le altre due. Queste si han da tenere per incerte, sebbene la loro incertezza poco influisca nei resultati di pratica, per essere queste resistenze, e anche quelle delle gomitate, di piccolo effetto a confronto della prima, la quale si può tenere per assai bene conosciuta.

103. *Perdita dovuta al cangiamento di direzione.* — Un corpo che si muova colla velocità v in una direzione, dovendo dirigersi in altra direzione che faccia colla prima l'angolo i, non li resta in questa che la velocità $v.\ cos.\ i$. Il fluido aveva per altezza dovuta alla velocità $0^m{,}051.v^2$, onde avrà perduto dopo la mutata direzione

$$0^m,051.v^2(1-\cos^2 i)=0^m,051.v^2 \operatorname{sen.}^2 i$$
$$=0^m,0826\,\frac{Q^2}{D^4}\operatorname{sen}^2 i$$

Quasi sempre le diramazioni si fanno ad angolo retto cioè abbiamo $i = 90°$ e perciò si perde nella diramazione tutta la forza della velocità, e il fluido vi entra in virtù della pressione o altezza piezometrica che si può avere nel condotto di faccia al punto di presa.

104. *Perdita dovuta all'erogazione.* — Studiarono Mallet e Genieys la velocità nella diramazione colla seguente esperienza. Ad un tubo del diam. $0^m,25$ fu innestato altro tubo del diametro 0,081 munito di chiave che poteva regolare l'egresso dell'acqua da questo. Fu applicato un piezometro al primo tubo poco sopra la diramazione, ed un'altro al secondo tubo a piccola distanza dal suo principio. Qualunque fosse la quantità d'acqua che si faceva sgorgare dal tubo di diramazione sempre il suo piezometro era più basso che quello del tubo principale. Messa poi a calcolo l'acqua avuta dalla erogazione, trovarono che la diminuzione del carico, che nasce all'imbocco di un tubo di diramazione, corrisponde a tre volte l'altezza dovuta alla velocità con cui l'acqua si incammina per quel tubo, ma per una volta questa altezza si scema dall'acqua che effettivamente esce, quindi le altre due volte, o due terzi di quella perdita del carico totale, son cagionate dalle perturbazioni che nascono per la erogazione dell'acqua. La teoria non può somministrare nessun lume su ciò, e poco di esatto può dedursi da una sola esperienza, pure riferisco le quantità d'acqua, che nell'unità di tempo si lasciavano fluire dal corto tubo di diramazione, quelle che escivano dalla bocca sempre libera del tubo principale, e quelle complessive dei due tubi. Si avrà luogo di dedurre che, essendo inesauribile il recipiente che alimenta l'efflusso, cresce la portata generale di tutto il sistema, a misura che si aumenta la erogazione laterale: cioè si ha dai tubi di diramazione un effetto analogo a quello, che si otteneva dalli slargamenti del tubo allo sbocco (96).

PORTATA DEL TUBO		
di erogazione	*principale*	*totale*
0,000000	0,001694	0,001694
0,000269	0,001491	0,001760
0,000836	0,001028	0,001864
0,001310	0,000579	0,001889
0,001380	0,000814	0,002194

Dispensa delle acque

105. *Condizioni per la uniforme dispensa dell'acqua.* — Ogni individuo deve poter conoscere la giustezza delle regole sulle quali è basata la distribuzione, e nel tempo stesso non hanno esse ad ammettere il soccorso dell'opera dell'uomo per evitare la frode e la mala fede. Quanto maggiormente all'uniformità e alla semplicità ci si attiene, più il reparto sodisfa ed è capace a servir di base alle contrattazioni relative. Suolesi a tale oggetto

Ridurre le luci alla medesima forma.

Disporle similmente, ed egualmente profonde sotto il pelo dell'acqua.

Inclinare egualmente alla velocità della corrente i piani delle luci quando la derivazione si fa immediatamente dalla sponda del fiume o del canale.

Aver tranquilla la superficie dell'acqua dentro il recipiente da cui si deriva.

Scolpire le luci in pietre della medesima grossezza, e colla stessa forma.

Rendere egualmente libero, o egualmente impedito lo sgorgo.

106. *Forma e grandezza delle luci.* — Hanno i francesi il pollice di acqua, che è il prodotto proveniente da un'orifizio circolare verticale di un pollice di diametro con una linea di carico sulla sommità dell'orifizio. La portata di questo non è costante perchè non è determinata la grossezza della parete ove si apre il foro, e può prossimamente aversi per 18 metri cubi di acqua in 24 ore. Si usa in Italia generalmente l'oncia d'acqua che è l'efflusso che si ottiene in un minuto secondo da una determinata luce sotto un determinato carico; ma variano questi due elementi, e perciò varia anche l'oncia d'acqua nei differenti paesi. Quella di Milano chiamata oncia magistrale è l'efflusso da un'apertura rettangolare dell'altezza di oncie 4 (0^m,19832) e della larghezza di oncie 5 (0^m,14874) sotto il battente di oncie 2 (0^m,09916). Questo modulo d'apertura è intagliato a soglie squadrate in un lastrone di marmo grosso once 4 (0^m,19832), ed il P. Regi sperimentò che porta in ogni minuto m. c. 2,5. L'oncia dell'acqua vergine in Roma è di m. c. 0,000468 in un minuto secondo. Il denaro di Pisa è di libbre tre al minuto, e perciò l'oncia darebbe in ogni secondo m. c. 0,000407.

Propose il Prony una nuova misura legata al sistema metrico, e capace di somministrare 10 metri cubi di acqua in 24 ore, chiamata modulo d'acqua. La nuova unità egli vorrebbe che fosse il doppio modulo e si avrebbe dall'efflusso di un foro circolare del diam. 0^m02 aperto in parete grossa 0^m,017 sotto un carico d'acqua di 0^m,05 computato sopra il centro della luce.

Per la figura delle luci viene ad essere preferibile quella rettangolare, inquantochè interessa che gli orli superiori conservino tutti la medesima distanza dal pelo d'acqua, e quelli inferiori sieno tutti della stessa quantità, sollevati dal fondo del recipiente. Tenendo tutti i rettangoli della stessa altezza saranno le portate prossimamente proporzionali alle loro basi. Solo quelli che hanno basi più grandi daranno anche in una proporzione maggiore di questa la portata, perchè in essi il perimetro ha un rapporto all'area più piccolo, e quindi presentano minor resistenza all'acqua fluente. Si toglierà questo inconveniente prescrivendo tutte le bocche di una stessa misura, e poi assegnando a ciascun reparto quel numero di bocche che sia proporzionato al suo valore.

107. *Disposizione delle bocche.*— Affinchè non si abbia sensibile influenza fra un efflusso e l'altro converrà stabilire, secondo il Brunacci fra una bocca e l'altra la distanza di 0^m,6. I bacini di distribuzione presentano generalmente la seguente disposizione (Tav. IV. fig.). Il tubo che somministra l'acqua pone in una prima vaschetta AA divisa in due parti dal tramezzo LL, il quale distrugge la celerità dell'acqua facendola passare per di sotto ad esso. Nella parete esterna MM' son praticate le bocche di dispensa. L'acqua cade da queste in una seconda vasca BB egualmente divisa da un tramezzo aperto alla sua parte inferiore. Di quì esce per altri orifizj, che la repartono ai diversi concessionarj.

Se le prime bocche danno l'unità di reparto si potrà dalle seconde ottenere le loro differenti suddivisioni secondo che si moltiplica il numero di esse; che se è la seconda vasca divisa in parti separate, ove gettano distintamente le prime bocche, si potrà suddividere l'acqua di una bocca in un numero di parti diverso da quello in cui vien divisa l'acqua di un'altra bocca.

108. *Dispense costanti prese dai canali a pelo di acqua variabile.*— Nella pratica conviene abbandonare gli ingegnosi fragili apparati, come sarebbe la cateratta galleggiante del Lorgna, e due metodi soli si usano. Il primo consiste nell'aprire alla sponda del canale maestro una bocca che porti l'acqua in un piccolo bottino a fondo orizzontale alquanto largo più della bocca stessa, e che va a terminare in un muro, ove è praticata l'apertura che deve misurare l'acqua da dispensarsi. Per mantener costante l'altezza dell'acqua dentro il bottino, si apre nella sua sponda uno sfioratore a livello dell'altezza prescritta, e l'acqua da questo traboccante si rimette nel canale principale. L'altro espediente, che è il più spesso usato nei fiumi, consiste in ampliare o impiccolire la luce praticata nella sponda del canale maestro coll'abbassare o alzare una paratoja secondo che il fiume è in piena, o ad acque magre — La luce regolatrice dovrà esser collocata tanto al di sotto del pelo magrissimo del fiume, quanto ha da essere il costante battente della dispensa. Se questa posizione è troppo bassa per fare scorrere le acque nelle adiacenti campagne, non potrà sempre ad acque magre ottenersi costante dispensa.

109. *Bocca di dispensa inalterabile.* — Come abbiam veduto che con tubi addizionali facilmente si aumenta la portata che si aveva da una luce scolpita in lastra sottile, così conviene ad evitar la frode, assegnare alle bocche di dispensa la forma conveniente, onde il suo efflusso riesca il massimo. Preparata l'intestatura del bottino, di una grossezza che equivalga a circa tre diametri della luce del modulo, cioè misura di acqua, si apra questa luce della giusta dimensione, di figura rettangolare e colle sponde perpendicolari alle pareti del muro d'intestatura. Inoltre alla medesima sulla parte interna si applichi un competente imbuto atto ad impedire la contrazione della vena.

Al contrario alla parte esterna del modulo invece di studiare la più gran portata converrà ricercare la minima. Si avrebbe la più grande lasciando libero l'efflusso col fare a guisa di fonte cadere il getto sovra un piano sottoposto. Ma trattandosi di terreni da adacquarsi, ciò d'ordinario non è concesso dalla giacitura del suolo, e quando si lasciasse libera la bocca del modulo, l'acqua effluente alzandosi nel suo condotto otturerebbe una porzione della bocca. In questa disposizione si ha tutto il modo per potere con studiate variazioni alterare la portata. Perciò il sig. Tadini ha proposto che esteriormente al modulo si applichi un canale scoperto orizzontale della stessa larghezza e altezza della bocca del modulo lungo circa $1^{m},5$. Sul finire della doccia si ponga una traversa che tolga l'accelerazione proveniente dalla chiamata allo sbocco, ed obblighi l'acqua fluente a mantenersi in piano, e col pelo orizzontale. Allora l'acqua otturando la bocca del modulo, dovrà il battente cominciare a misurarsi dal ciglio suo supe-

riore. L'esperienza determinerà l'altezza che deve darsi alla traversa che ha da essere stabilmente apposta.

Le bocche milanesi (106) hanno una disposizione inversa; perchè nella parte interna presentano una porzione di canale detto *tromba coperta*, che ha superiormente un tavolato a cielo morto, per tenere in quiete il pelo dell'acqua, ed in basso alla parte anteriore una soglia alquanto elevata, per togliere la chiamata allo sbocco: alla parte esterna è libera l'apertura giacchè sono ivi munite di un canale scoperto inclinato, ed a sponde divergenti, *tromba scoperta*: infatti la loro portata, si è ritrovata anche superiore a quella che darebbe il calcolo, forse perchè manca in qualche parte la contrazione.

110. *Osservazioni sulla costruzione dei tubi di condotta*. — Si può determinare il diametro dei tubi col mezzo delle formule teoriche (94), ed accrescere qualche cosa alla misura che queste prescrivono, e particolarmente quando si trattasse di tubi sinuosi. I pratici sogliono fissare il diametro anche più che doppio di quello che assegna la teoria. Infatti molte sono le accidentalità che possono scemarne la portata: è avvenuto non a guari in Pisa che posti dei tubi di ghisa per condurre le acque alle fonti, dopo un'anno circa era tanto scemata la loro portata, che non servendo all'uopo vennero tolti dal posto, e visitati fu ritrovata diminuita più della metà la loro luce da un involucro di ossido di ferro in forma di materia molle, fatto tutto all'intorno delle pareti.

I tubi di ghisa si fondono in tronchi lunghi da uno a due metri, alle cui estremità sporgono all'intorno due labbri o *briglie*. Queste servono coll'intermedio di un cuojo o feltro per connettere i tronchi testa a testa con delle caviglie che passano per adattati fori e sono chiuse da un dado a vite. Occorre di tratto in tratto porre delle piccole conserve lungo le condotture che abbiano nel fondo uno scaricatore guernito di chiave metallica da potersi aprire a piacimento. Queste raccoglieranno le materie gravi trasportate dall'acqua, ed anche aperta la chiave serviranno a lavare il tronco del tubo superiore. Si porrà cura di collocare tali conserve nelle risvolte, e particolarmente in quelle verticali. Abbisognano nei tubi, come anche negli acquedotti degli sfiatatoj per l'aria, onde essa non ritardi il corso dell'acqua, e sarà bene collocarli alle sommità delle risvolte verticali. La forma più semplice che loro si possa assegnare è quella di un tubo verticale rivolto in alto che ascenda più dell'altezza dell'acqua nella conserva, ed abbia l'estremità superiore rivolta in basso, perchè corpi estranei non vi si introducano per caduta. Conviene fare gli sfiatatoj a valvula quando i precedenti tubi ingombrassero di troppo, o divenissero di lunghezza eccessiva. Tali valvule sono guidate da un'asse che termina in una sfera metallica vuota, la quale galleggiando, chiude la valvula solo quando è nell'acqua, e non quando rimane nell'aria.

Aggiungerò che per regolare la grossezza de' tubi quando si voglia dedurre dalla resistenza alla rottura, si dovrebbero usare nella formula $S' = n a' r$ riportata al §. 14 i seguenti coefficienti n, ai quali però per la stabilità non si potrà a meno che dare un valore triplo, e che rimarrà sempre un valore minore di quello che allora si disse provato dall'esperienza.

	VALORI DI n	
	per la rottura	*per la stabilità*
Quercia . .	$0,^{m}000167$	$0,^{m}000501$
Mattoni . .	0,005380	0,016140
Ferro batt.	0.000025	0,000075
Ferro fuso	0,000036	0,000108
Piombo laminato . .	0,000785	0,002355

Del moto dell' acqua nei canali.

111. *Forza acceleratrice dell' acqua.* — Pochissimi sono i casi nei quali si ha nell' acqua mossa per canali scoperti una comunicazione di moto, o una forza aggiunta, differente da quella che proviene dalla loro gravità. Il canale che è ordinariamente di uniforme sezione, e di uniforme pendenza, ha le acque mosse dalla gravità relativa (*Mecc.* 185) la quale tende a fare acquistare ad esse un moto uniformemente accelerato lungo il piano inclinato del canale. Designando con p il rapporto tra l' altezza e la lunghezza del piano inclinato, la forza acceleratrice sarà gp. Se la superficie superiore libera dell' acque, che vien detta il pelo dell'acqua, fosse parallela al fondo del canale, non si avrebbe nessun altra azione della forza acceleratrice di gravità. Non mantenendosi il pelo dell' acqua parallelo al fondo del canale, ed essendo inclinato all' orizzonte più l' uno dell' altro, ne viene che le colonne fluide verticali, le quali premono (9) le particelle prossime al fondo, sono sempre più corte a misura che si discende lungo il canale. Le particelle più premute si muoveranno verso quelle meno premute, e perciò verrà anche in questo modo la gravità ad agire come forza acceleratrice. Che anzi in questo caso il suo effetto si avrà non solo quando il canale sia inclinato, ma ancora quando è orizzontale poichè serve che la pressione che si ha in un senso, superi quella che si ha in senso opposto per far muovere le particelle liquide nella direzione ove la pressione è maggiore.

112. *Forza ritardatrice dell'acqua.* Nei canali l' acqua bagna il fondo ed una porzione delle pareti. In ogni sezione s si ha un perimetro c bagnato, ed il rapporto $s : c$ suol chiamarsi raggio medio della sezione. La superficie o letto del canale bagnato oppone una resistenza al moto perchè tenendo fisso uno strato di acqua sono gli altri strati a quello ritenuti dalla viscosità del liquido. Non può dirsi che questa resistenza sia un'attrito, poichè non cresce colla pressione, nè colla natura della superficie. Ha il Dubuat provato anche con esperienze dirette che la pressione non vi influisce, e che è la stessa, sia che l' acqua scorra sovra il vetro, il piombo, lo stagno, il ferro, il legno, e sovra diverse qualità di terre.

Da questa forza ritardatrice, ne viene che le accelerazioni lungo i canali anche molto inclinati, non seguitano per lungo tratto. Bossut facendo scorrere l' acqua in un canale di legno lungo 200^{m} e con pendenza costante, ha trovato che divisa la lunghezza in intervalli di 35^{m} l'uno, tutti ad eccezione del primo erano percorsi in un medesimo numero di secondi.

Si potranno ripetere per questa resistenza i medesimi elementi che abbiamo rammentati (93) per quella dei tubi, e per conseguenza dovrà espri-

mersi colla seguente formula analoga a quella che per i tubi si adottò

$$a \frac{c}{s} (v^2 + bv)$$

113. *Velocità media*. — Ammesso che la forza ritardatrice viene dalla resistenza del letto, e che si comunica di strato in strato per la viscosità dell'acqua, si comprende che più ritardati saranno gli strati prossimi al letto del canale, e meno quelli prossimi al pelo. Avremo dunque non solo differente velocità dei diversi strati, ma anche in un medesimo strato a misura che dal mezzo del canale ci si avvicinerà alle pareti.

La portata del canale resulterà dalla massa dell'acqua che passa per una sua sezione in 1", e se quella dividesi per l'area della sezione si avrà una velocità che è media fra quella che avevano le particelle liquide più celeri, e quelle più lenti. Interessa di conoscere questa celerità media, cioè di sapere il suo rapporto colla celerità che si ha nel filo di acqua che è alla superficie, e al mezzo di questa (dico al mezzo nella supposizione che il canale sia regolare). Tal cognizione non si ha che dai resultati sperimentali, e quelli di Dubuat ottenuti da molte precise esperienze portano a stabilire:

1.° Che il rapporto tra la velocità alla superficie, e quella al fondo è tanto più grande quanto la velocità é più piccola.

2.° Questo rapporto è totalmente indipendente dalla profondità dell'acqua nel canale.

3.° Alla stessa velocità di superficie corrisponde sempre una medesima velocità nel fondo del canale.

4.° La velocità media è una media proporzionale tra quella della superficie e l'altra del fondo.

Il Prony dopo aver discusso le esperienze del Dubuat ha creduto conveniente stabilire tra la velocità media v, e l'altra massima V il rapporto

$$v = V \frac{V + 2,372}{V + 3,153}$$

e che nella pratica per approssimazione possa ritenersi $v = 0,8V$, cioè per avere la velocità media di una corrente d'acqua conviene diminuire di un quinto quella che si ha alla superficie.

114. *Figura da preferirsi per i canali*. — Due oggetti si propongono a tale ricerca gli idraulici 1.° di ottenere nell'alveo la massima velocità 2.° di ottenere la minima pendenza nel canale, e con questi giungono a concludere che la figura circolare per gli alvei delle acque correnti è preferibile, come si rileva anche dal solo riflettere che questa è quella, che per essere il circolo in maggior area sotto minor perimetro, presenta minor superficie resistente per una data sezione. Questa però non è praticabile che per dei canali composti di pietra, di legno, di ferro, o di piombo. Le terre non si conserverebbero sotto la forma semicircolare, e poichè la natura ne' fiumi ci insegna preferire la forma del trapezio, così anche ne' canali dovrà anteporsi questa forma. Si dovrebbero fare adunque le inclinazioni delle sponde sull'orizzontale a 60° e le sponde estese quanto il fondo, acciocchè la sezione del canale prenda la figura di un mezzo esagono regolare, e si avvicini il più possibile al semicircolo. Ma trattandosi di terre non potrà tenersi che l'inclinazione di 45° tutt'al più, ed allora onde si abbia il massimo raggio medio nella sezione, converrà che essa sia disposta come appresso. Nella sezione trapezoidale la larghezza del

fondo deve essere due terze parti dell'altezza, e la base della scarpa quattro terzi della medesima altezza. Questa avuto riguardo alla più comune consistenza delle terre sarà la sezione dell'alveo adattabile nella pratica, e in parità di grandezza sarà suscettibile di produrre la maggior celerità possibile nell'acqua quando è fissata la pendenza dell'alveo, ed anche quella che richiede il più dolce pendìo quando è data la velocità.

Dovendosi fare una sezione rettangolare si prescrive quella a mezzo quadrato cioè con l'altezza viva dell'acqua eguale alla metà della larghezza.

115. *Moto uniforme.* — Allorchè la pendenza del pelo d'acqua è quella stessa del letto del canale, come può ritenersi, dopo che ha avuto luogo un certo corso, nei canali regolari, il moto diviene uniforme, cioè la forza acceleratrice è eguale alla ritardatrice e si avrà

$$gp = a\frac{c}{s}(v^2 + bv)$$

E dalle esperienze di Dubuat si può come ha fatto Eytelwein, determinare a, b, e si ha

$$p = 0{,}00036554\,\frac{c}{s}\,(v^2 + 0{,}0664\,v)$$

Tali valori numerici son confermati dalle esperienze fatte dal Prof. Masetti in Bologna. Essi diversificano, sebbene non molto, da questi ammessi da Prony $a = 0{,}000309$ $b = 1{,}437$.

Da questa equazione non solo si può dedurre il valore della velocità v ma anche quello della portata per la relazione che è tra questa e la velocità. Si ha per approssimazione

$$Q = s\left(52{,}3\sqrt{\frac{ps}{c}} - 0{,}033\right)$$

e nelle grandi velocità maggiori di un metro, nelle quali la resistenza è semplicemente proporzionale al loro quadrato, si può usare la formula pure di approssimazione

$$Q = s.51\sqrt{\frac{ps}{c}}$$

Le pendenze dei lungh[illegible] no piccole, perchè la velo[illegible] venga troppa, e perchè è [illegible] voro perduto nell'acqua la [illegible] scesa del canale. La pendenza [illegible] diecimillesimi può servire a [illegible] le assai grandi velocità, ove [illegible] si trasportate le arene. Quella di un solo diecimillesimo suole essere preferita per i lunghissimi canali, ove la velocità è piccola, ma talvolta si ha anche pendenze di mezzo diecimillesimo. Nè si deve credere che la velocità possa essere arbitraria, perchè quando superasse trenta centimetri corroderebbe il fondo terroso, e quando fosse minore di venti centimetri depositerebbe le sottili torbe.

Abbiamo ammesso che il pelo dell'acqua sia parallelo al fondo, ma tale parallelismo non verificandosi sempre, si prende per la pendenza direttrice quella media tra la pendenza del pelo e la pendenza del letto.

Per ajutare nella pratica il calcolo della precedente equazione, riferiamo i valori della velocità v in metri per i corrispondenti valori di

$$\frac{ps}{c}$$

dati in dieci millionesimi di metro. Ed affinchè si possa apprezzare la differenza che si ottiene dal seguire la formula d'Eytelwein, anzichè quella di Prony, noterò che da quest'ultima per le velocità

$0^m{,}01$	0,56	0,70	0,50	3,00

si avrebbero i valori di $\frac{ps}{c}$

5	561	1827	7626	29172

VALORI di v	$\frac{ps}{c}$	VALORI di v	$\frac{ps}{c}$	VALORI di v	$\frac{ps}{c}$
		0,50	1035	1,45	8037
		0,52	1115	1,50	8589
		0,54	1197	1,55	9158
		0,56	1282	1,60	9746
		0,58	1370	1,65	10352
		0,60	1461	1,70	10977
0,07	35	0,62	1556	1,75	11620
0,08	43	0,64	1653	1,80	12281
0,09	51	0,66	1753	1,85	12960
0,10	60	0,68	1855	1,90	13657
0,11	71	0,70	1961	1,95	14373
0,12	82	0,72	2070	2,00	15107
0,13	93	0,74	2181	2,05	15859
0,14	106	0,76	2296	2,10	16630
0,15	119	0,78	2413	2,15	17419
0,16	132	0,80	2534	2,20	18226
0,17	147	0,82	2657	2,25	19052
0,18	162	0,84	2783	2,30	19895
0,19	178	0,86	2912	2,35	20757
0,20	195	0,88	3044	2,40	21637
0,22	230	0,90	3179	2,45	22536
0,24	269	0,92	3317	2,50	23453
0,26	310	0,94	3458	2,55	24388
0,28	354	0,96	3602	2,60	25340
0,30	402	0,98	3749	2,65	26313
0,32	452	1,00	3898	2,70	27303
0,34	505	1,05	4286	2,75	28311
0,36	561	1,10	4690	2,80	29338
0,38	620	1,15	5113	2,85	30383
0,40	682	1,20	5553	2,90	31446
0,42	747	1,25	6015	2,95	32527
0,44	814	1,30	6493	3,00	33027
0,46	885	1,35	6990		
0,48	959	1,40	7504		

116. *Moto permanente* — Spesso il pelo dell'acqua varia d'inclinazione da un punto all'altro, e non ha quella del fondo; e ai diversi punti del canale le sezioni, e per conseguenza le velocità non sono eguali. Contuttociò sù ciascun punto preso separatamente, rimanendo sempre la stessa sezione e la stessa velocità, tutto resta costante, e il moto senza essere uniforme può dirsi permanente.

Da un punto all'altro del canale variando la velocità da V a V' è chiaro che la perdita o accrescimento di forza viva, che si esprimerà con

$$M(V^2 - V'^2)$$

essendo M la massa dell'acqua compresa tra le due sezioni estreme, dovrà essere eguale al doppio del lavoro meccanico prodotto dalla gravità nella discesa dell'acqua, meno il doppio del lavoro meccanico consumato nelle resistenze. Onde chiamando P il peso dell'acqua predetta, ed A la discesa dalla prima all'ultima sezione, e con l indicando la lunghezza di un piccol tratto del canale con v la celerità in quel tratto, ritenuto il consueto valore della resistenza, e indicando con Σ la somma di tutti i termini analoghi a quello che le sta scritto accanto, e relativi ai diversi piccoli tratti del canale, avremo

$$M(V^2 - V'^2) = 2PA - 2\Sigma g M \frac{cl}{s}(0,0003655\, v^2 + 0,0000243.v)$$

e dividendo per $2gM$

$$\frac{V^2}{2g} - \frac{V'^2}{2g} = A - \Sigma \frac{cl}{s}(0,0003655.\, v^2 + 0,0000245.\, v)$$

E poichè per ogni sezione passa la stessa quantità Q di acqua, e si ha $Q = v.s$, potremo nell'ultimo termine della precedente equazione eliminare la v, ed indicando con apici le successive sezioni, si esprimerà quello nel seguente modo

$$0,0003655\left(\frac{l_{,}c_{,}}{s_{,}^3} + \frac{l_{,,}c_{,,}}{s_{,,}^3} + \ldots \frac{l_n c_n}{s^3_n}\right) Q^2 + 0,000243\left(\frac{l_{,}c_{,}}{s_{,}^2} + \frac{l_{,,}c_{,,}}{s_{,,}^2} + \ldots \frac{l_n c_n}{s^2_n}\right) Q$$

il quale ci mostra facile l'uso nella pratica ove determinate a volontà le lunghezze $l, l_{\prime\prime} \ldots l_n$ dei tratti del canale, saranno in quelle noti i respettivi perimetri $c, c_{\prime\prime} \ldots c_n$ bagnati, e le respettive sezioni $s, s_{\prime\prime} \ldots s_n$ saranno pure conosciute.

Per semplicizzare si pongano N', N'' per i coefficienti delle potenze della portata in questi due ultimi termini, e si sostituisca anche nel primo membro dell'equazione la portata in luogo della velocità, e le sezioni s_0 s_n ad esse corrispondenti, sarà

$$\frac{V'^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2g}\left(\frac{1}{s^2_n} - \frac{1}{s^2_0}\right) Q^2$$

indicando poi con N questo coefficiente di Q^2, avremo l'equazione

$$A = (N + N')\, Q^2 + N'' Q$$

che potrà darci la portata espressa per le sezioni, e per la pendenza totale del canale.

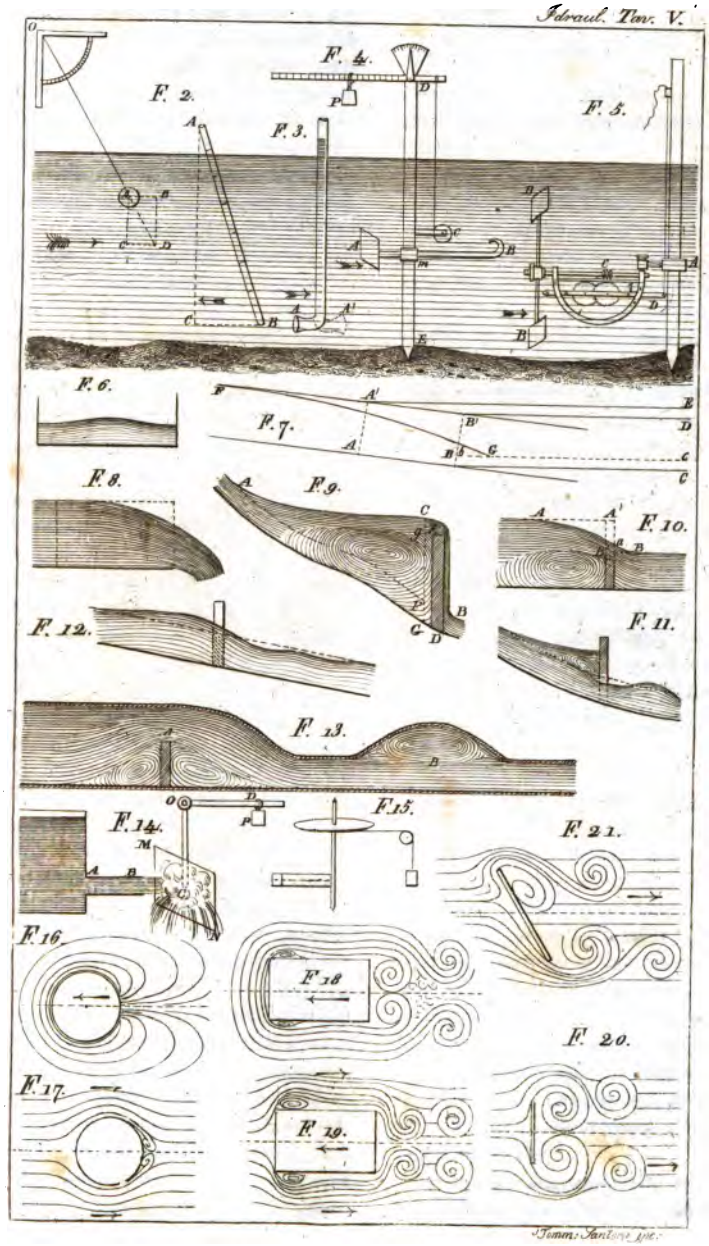
117. *Moto dell'acqua ne' canali scoperti di piccola lunghezza.* — Quando il canale è lunghissimo, ne medesimi punti le sezioni di acqua rimangono sempre le medesime, e si dice di avere un regime regolato. Allorchè piccola è la lunghezza del canale come accade nei condotti delle officine, il regime varia non solo da un punto all'altro, ma anche nel medesimo luogo per gli urti, e per i moti vorticosi che vi si producono. Non deve dunque confondersi un canale che abbia in lunghezza dieci o trenta volte la larghezza, con quello che è lungo per più di cento larghezze. Nel primo caso alquanto distante dalla sezione contratta alla cateratta si prenderà per la celerità v media 0,82 di quella alla superficie. Sia A la pendenza del canale su tutta la lunghezza, e q il peso dell'acqua che passa in un piccolissimo tempo, o anche in 1''. Chiamata V la velocità alla fine del canale, e non tenendo conto del lavoro della resistenza di esso, si avrà

$$\frac{q}{g}(V^2 - v^2) = 2qA \text{ cioè } V = \sqrt{2gA + v^2}$$

La vera velocità deve essere più debole per le resistenze. Per avvicinarsi ad essa supporremo che con una velocità media aritmetica tra v, V, l'acqua abbia preso moto uniforme per tutto il canale, e si dedurrà la sezione media. Quindi si calcolerà la pendenza che corrisponde a questa uniformità ipotetica, e diminuiremo della pendenza che si trova la quantità A posta nella formula sopra stabilità per la velocità. Questa formula in tal modo corretta, diverrà capace di dare assai esattamente la velocità alla fine del canale.

118. *Presa dell'acqua per i canali.* — I canali prendono l'acqua da bacini posti alla loro testa, i quali il più delle volte sono porzioni di fiume, ove si è sollevato il livello con steccaje. La testa del canale, al punto di presa alcune volte è aperta con stipiti, ed altre vien munita di una soglia scanalata con serracinesca. Nel primo caso (Tav. V. fig. 12) si ha al primo ingresso un subitaneo abbassamento di livello e grande aumento di velocità; quindi un rialzamento che scema la velocità succeduto da alternative minori di depressioni e sollevamenti che portano poi ad una uniformità il pelo dell'acqua. In questo regime stabilito, l'altezza dovuta alla velocità media è eguale alla differenza tra l'altezza del bacino, e quella della sezione uniforme. Cosicchè indicando con A, A' queste due altezze con v la velocità del moto uniforme, e con m il coefficiente di contrazione alli stipiti della bocca del canale si ha

$$A - A' = 0{,}051\, \frac{v^2}{m^2}$$



Tomm. Santini inc.

ove m il più delle volte, quando la differenza delle due altezze è piccola, indica minima contrazione e può porsi $= 0,97$. Per gli stretti canali che conducono alle officine dovrà porsi 0,86. Nella precedente formula potremo per il valore della velocità ripetere quello che si è detto sopra (115).

Posto che si abbia la cateratta, o serracinesca, deve distinguersi il caso che l'acqua non otturi dalla parte del canale l'apertura della cateratta, dall'altro in cui vien da essa otturata. Il primo caso (Tav. V. fig. 11) ha luogo quando il battente sul centro dell'orifizio è assai grande, giacchè la contrazione si fa pur grande per ogni lato dell'orifizio, e non tocca l'acqua nell'entrare nel canale alcuna sua parete, e perciò la quantità d'acqua che vi entra, è quella stessa che sarebbe escita dalla cateratta se il canale non vi fosse esistito. Quindi chiamando m il coefficiente di contrazione, ed S la sezione lasciata dalla cateratta, ed A l'altezza del battente, sarà il volume dell'acqua che entra nel canale $mS\sqrt{2gA}$. Solamente essendo la cateratta messa al modo ordinario entro la scanalatura delle soglie, si dovrà prendere per coefficiente di contrazione 0,70. Allorquando il battente è piccolo, l'acqua escendo dalla cateratta rimane in contatto con le pareti del canale, e ne risente l'azione ritardatrice, e quando il battente è molto piccolo, la cateratta non produce effetto sensibile, è come se non vi fosse. Essendo poi di media grandezza il battente, cosicchè la vena fluida all'escita sia intieramente ricoperta di acqua tranquilla, siamo nel caso de' vasi comunicanti (78) e chiamando A' l'altezza dell'acqua nel canale, ed A quella del bacino, si avrà la formula della portata $mS\sqrt{2g(A-A')}$ che eguagliata con l'altra della portata del canale a moto uniforme (115), avremo l'equazione

$$mS\sqrt{2g(A-A')}=S\left(52,3\sqrt{\frac{ps}{c}}-0,033\right)$$

che servirà a risolvere diverse questioni relative ai canali muniti di cateratta.

119. *Classazione dei Canali.* — I canali tutti differiscono dai fiumi perchè la regolarità del loro corso, e la chiarezza delle loro acque non fanno che si alteri il loro alveo circa la direzione, nè per i riempimenti e depositi di materie. Si distinguono secondo l'uso i canali di irrigazione, quelli di bonificazione, di derivazione, di scolo, di navigazione ec.

120. *Condizioni richieste per i canali di scolo.* — Mettono questi nelle paludi, o nei fiumi, o direttamente nel mare. Acciò un terreno abbia scolo per mezzo di un canale 1.° il pelo massimo di questo deve rimanere sempre inferiore alla superficie del terreno; 2.° la superficie del terreno deve esser più elevata in ogni sua parte al pelo del recipiente nel punto ove questo riceve il canale di scolo.

Non sia sodisfatta la prima condizione. Si potrà accrescere la larghezza del canale per sbassare l'altezza viva dell'acqua. Purchè si abbia cura di non diminuire la velocità di tanto da averne danno maggiore. Se per es. si trattasse di un canale rettangolare in cui l'altezza viva dell'acqua sia maggiore della metà della larghezza del canale (114), si potrà slargare la sezione fino ad avere la sua larghezza eguale al doppio dell'altezza viva, giacchè così si sbasserà il pelo e non si altererà la velocità del corso.

La seconda condizione ben di rado è costantemente adempita, pure si

reputa lo scolo della campagna assai felice, qualora il terreno rimanga per qualche tempo superiore al pelo del recipiente. Allora si fa arginato il canale di scolo, ed occorrendo munito di cateratte a porta. Come anche si separa lo scolo delle campagne che obbediscono alla condizione, da quello delle altre che van soggette a vicende di scolo libero ed impedito. E per quest'ultimo si procurerà di tener piccola l'altezza viva dell'acqua coll'ampliare la larghezza del canale.

È da notarsi che oltre a lasciarsi esenti le campagne dalle inondazioni, conviene che tali siano gli scoli da rendere salubre l'aria, da rendere atte le campagne alla coltivazione ec. Quando si tratta di pianure con scolo infelice, come sarebbe la nostra pisana, credo si dovesse dare a quello la forma di una fossa più stretta scavata nel fondo di un fosso più ampio, onde l'acque in stato di magrezza si raccogliessero nella fossa stretta, e ritenendo poca superficie evaporante, permettessero di nettare il fondo del fosso rimasto all'asciutto. Le acque de' canali di scolo hanno minimissima velocità, e per conseguenza non portano materie, nè tendono ad escavare il fondo. Da ciò ne viene che gli alvei di tali canali, possono ordinariamente riguardarsi come inalterabili dalla corrente; solo li ingombrano di frequente le cannucce e le alghe che vi nascono, e dalle quali deve esser cura impreteribile nettarli.

Le questioni che possono presentarsi sovra i canali di scolo si risolveranno colle equazioni del moto equabile (115) o con quelle del moto permanente (116), sostituendovi quei dati che si hanno nel quesito particolare. Se si tratterà di una riunione di scoli dopo aver determinata l'altezza viva che l'acqua può acquistare nel canale, si giudicherà se essa possa recare danno alla campagna, anche per l'effetto de' rigurgiti nella parte superiore alla confluenza. Ed ammesso che sia possibile l'allargare il canale potrà, piacendo, scemarsi l'altezza e determinarla colle notate equazioni, in modo che rimanga innocua. Facile è il vedere che il canale riunito dovrà avere una larghezza minore della somma delle larghezze de' canali separati per dare egual portata sotto eguale altezza viva, perchè il perimetro bagnato da cui proviene la resistenza non raddoppia raddoppiando la larghezza del canale. Quindi può dirsi in generale utile la riunione degli scoli, seppure con quella non viene aumentata la lunghezza dei canali.

121. *Condizioni richieste nei canali di navigazione.* —

1.° L'altezza viva e la portata dei canali devono esser le sole necessarie, e costanti, ed ogni loro eccedenza o variazione sarebbe a carico dell'industria e delle spese di mantenimento.

2.° L'altezza dell'acqua deve essere eguale alla profondità a cui pescano le barche con più mezzo metro per evitare la resistenza.

3.° La pendenza del canale deve esser la più piccola possibile, onde si possa mantener sempre alimentato il canale per riparare a quelle perdite di acqua che sono indispensabili. Quindi allorchè si ha scarsità d'acqua permanente, diviene necessario il togliere ogni pendenza, e fare la navigazione ad acqua stagnante.

Da quest'ultima condizione ne viene, che di tratti quasi orizzontali si ha da comporre il naviglio, e questi devono esser separati da sostegni muniti di conche per le quali pos-

sano le barche trasportarsi dal livello di un tronco a quello di un altro. Celebre è il canale di Linguadoca, ove le barche per passare dal Mediterraneo all'Oceano e viceversa, salgono per un'altezza di 200^{m} nelle montagne di *Cevennes*.

I sostegni sono formati da porte che girevoli sovra i loro gangheri si chiudono, lasciando un'ottuso angolo saliente verso il tronco superiore. Si hanno due ordini di porte distanti l'uno dall'altro per uno spazio che è detto conca, ove può entrare la barca. L'acqua traboccando dalle porte superiori entro la conca la riempie e ne vien sollevata la barca che vi si trovava, e può essa passare dal tronco inferiore al superiore. Viceversa stando la barca nella conca già piena, mentre questa si vuota per adattate aperture, viene quella ad abbassarsi, e passa dal livello del tronco superiore all'altro del tronco inferiore.

Generalmente parlando per render minimo il consumo dell'acqua, converrà moltiplicare il numero de' sostegni tanto da esaurire tutta la caduta del canale. Un certo consumo di acqua si avrà sempre per il tragitto delle barche nei sostegni, ed a questo ha da aggiungersi quello che è dovuto alla cadente dei differenti tronchi del canale, quello prodotto dalla evaporazione, e quello delle infiltrazioni, e quello delle erogazioni che potessero farsi lungo il canal naviglio.

Il fondo del canale deve tenersi ben netto non solo dall'erbe palustri che potrebbero sorgere nelle acque chiare, e dagli interrimenti che si si fanno da quelle torbe, ma ancora dalle materie che possono essere spinte nel canale dalle piene del fiume. Qualche effetto per nettare l'alveo possono produrre le acque che si fanno uscire dalle porte dei sostegni: in generale però suole abbisognare l'escavazione manuale, disseccando il naviglio, e l'uso dei curaporti in prossimità dell'incile, per riportare nel fiume le materie che da quello sono escite.

122. *Condizioni richieste nei canali da opifici, e lavoro meccanico di una corrente.* — Se il canale debba servire ad alimentare delle macchine allora tanto più 1.° interessa di dividerlo in tronchi orizzontali separati da cascate di acqua che formano la forza motrice.

2.° Le cascate devono essere regolate, onde per tutta la loro altezza vengano ad agire sulla macchina.

3. In questi moltissimo si ha cura di non disperdere acqua, e perciò si fanno spesso murati.

4.° Lo stabilimento di un opificio non deve produr rigurgito all'opificio superiore.

5.° Dovrà evitarsi la perdita di lavoro occasionata dalla resistenza col fare tali canali più corti che sia possibile, e coll'impedire il più che si può la contrazione della vena fluida al suo ingresso:

6.° All'ultimo tratto del canale, il quale porta sulla ruota idraulica l'acqua, si aumenta l'inclinazione di quel tanto che conviene onde il ristringimento che li si deve dare per diriger l'acqua sulla macchina non scemi la portata.

7.° Si dirige quest'ultimo tratto nel modo il più opportuno perchè l'acqua produca sulla macchina il massimo di lavoro.

Il lavoro di una corrente di acqua è P.A^{km}; ove P rappresenta il peso dell'acqua condotta dalla corrente in 1$''$, ed A rappresenta la caduta reale che può fare il fluido, o quella

fittizia che agisce in virtù di una celerità dovuta a quell'altezza. Nel primo caso A è la differenza di livello tra il condotto superiore poco avanti al luogo della caduta, e il condotto inferiore un poco dopo quel luogo. Nel secondo caso la caduta fittizia sarà $0^m,051.\ v^2$, essendo v la celerità media della corrente. Che se chiamiamo s la sezione della corrente avremo $P = 1000.\ s.\ v$; e quindi il lavoro meccanico sarà $PA = 51.\ s.\ v^3$ cioè proporzionale al cubo della velocità.

Qui credo opportuno riportare per gli usi pratici una tavola che assegni l'altezza (*Mecc.* 170) dovuta alle differenti velocità.

TAVOLA DI VELOCITA' E DI ALTEZZE DOVUTE

altezze	*velocità*	*altezze*	*velocità*	*altezze*	*velocità*	*altezze*	*velocità*
$0^m,0005$	$0^m,10$	$0^m,080$	$0^m,25$	$0^m,31$	$2^m,47$	$0^m,80$	$3^m,96$
0,0006	0,11	0,085	0,29	0,32	2,51	0,82	4,00
0,0007	0,12	0,090	1,33	0,33	2,54	0,84	4,05
0,0009	0,13	0,095	1,37	0,34	2,58	0,86	4,10
0,0010	0,14	0,100	1,40	0,35	2,62	0,88	4,15
0,0011	0,15	0,105	1,44	0,36	2,66	0,90	4,20
0,0013	0,16	0,110	1,47	0,37	2,69	0,92	4,25
0,0015	0,17	0,115	1,50	0,38	2,73	0,94	4,29
0,0016	0,18	0,120	1,53	0,39	2,76	0,96	4,33
0,0018	0,19	0,125	1,56	0,40	2,80	0,98	4,38
0,0020	0,20	0,130	1,60	0,41	2,84	1,00	4,43
0,0022	0,21	0,135	1,63	0,42	2,87	1,05	4,53
0,0025	0,22	0,140	1,66	0,43	2,90	1,10	4,63
0,0027	0,23	0,145	1,69	0,44	2,94	1,15	4,73
0,0029	0,24	0,150	1,72	0,45	2,97	1,20	4,84
0,0032	0,25	0,155	1,75	0,46	3,00	1,25	4,94
0,0034	0,26	0,160	1,77	0,47	3,04	2,30	4,04
0,0037	0,27	0,165	1,80	0,48	3,07	1,35	5,14
0,0040	0,28	0,170	1,83	0,49	3,10	1,40	5,24
0,005	0,31	0,175	1,85	0,50	3,13	1,45	5,33
0,010	0,44	0,180	1,88	0,52	3,19	1,50	5,42
0,015	0,54	0,185	1,91	0,54	3,25	1,55	5,51
0,020	0,63	0,190	1,93	0,56	3,31	1,60	5,60
0,025	0,70	0,20	1,98	0,58	3,37	1,65	5,69
0,030	0,77	0,21	2,04	0,60	3,42	1,70	5,77
0,035	0,83	0,22	2,08	0,62	3,49	1,75	5,86
0,040	0,89	0,23	2,12	0,64	3,54	1,80	5,94
0,045	0,94	0,24	2,17	0,66	3,59	1,85	6,02
0,050	1,99	0,25	2,21	0,68	3,65	1,90	6,10
0,055	1,04	0,26	2,26	0,70	3,70	1,95	6,18
0,060	1,08	0,27	2,30	0,72	3,76	2,00	6,26
0,065	1,13	0,28	2,34	0,74	3,80	2,05	6,34
0,070	1,27	0,29	2,39	0,76	3,87	2,10	6,41
0,075	1,21	0,30	2,43	0,78	3,91	2,15	6,49

CAPITOLO VI.

Dei fiumi, e degli istrumenti idrometrici.

123. *Origine degli alvei dei fiumi.* — La disposizione delle montagne che tra le falde de' loro fianchi lasciano i luoghi più bassi, determina il primo andamento de' fiumi. Le acque correnti colla loro forza scavano le terre nei luoghi ove è più angusto il loro corso, ed è più grande il declive, e le abbandonano ove il corso si fa ampio, e pianeggiante. Sulle prime spaziano nelle pianure, e non vi si alzano egualmente in tutti i punti per le opposte pendenze. Per altro la velocità essendo maggiore ove l'acqua ha più d'altezza, ivi si fa piccol deposito delle materie che trasporta, ed in copia sono queste deposte nei luoghi ove la velocità è minore. Quindi vien tosto a formarsi il letto del fiume. È legge costante che il deposito delle materie si fa in massima copia, ove è il più brusco degradamento di velocità, e perciò appena che han cominciato a formarsi le sponde dei fiumi, cresce la facilità che l'acque depositino sovra di esse, e rechino alle medesime ingrandimento nelle successive piene.

Io non intendo di voler seguire le particolarità che avran luogo, attese le speciali disposizioni del terreno; potranno talvolta le acque raccogliersi in un luogo basso dal quale non avendo escita per una gola di monti, se non quando acquistano un elevato livello, vi formeranno un lago; potrà la foce affondarsi col mezzo della forza delle acque, e si apriranno esse lo scolo; potrà riempiersi il basso di materie trasportate dalle correnti, o col *detrito* dei monti, e formarsi naturalmente una colmata che faccia sparire il lago; potrà stabilisi un regolare degradamento di pendenza nell'alveo dalla sorgente fino alla foce in mare, se ostacoli insuperabili non si oppongono alla forza delle acque; potrà in caso opposto formarsi l'alveo a diversi tronchi con pendenze fra di loro indipendenti; potranno le svolte e i serpeggiamenti dell'alveo stabilirsi in mezzo alla più perfetta pianura. Dico però che tutti questi naturali procedimenti formeranno all'idraulico la più sana scuola sulla scienza dei fiumi.

124. *Dei piani inclinati che determinano la posizione delle acque.* — Allorchè non è il fiume ancora arginato straripando nelle diverse piene e dilatando le sue acque per la pianura solleva co' depositi massimamente il terreno prossimo alla ripa per la degradazione brusca di velocità che ivi soffrono le acque, e meno a grado che da quella ci si allontana. In tal modo un piano inclinato viene a formarsi sulla campagna, il quale seconda l'andamento del fiume da una ripa e dall'altra, ed ha la parte più elevata verso la ripa e la più depressa lungi dal fiume. Questo piano inclinato sarà tanto più esteso quanto il fiume è più abbondante di acqua, ed anche per il medesimo fiume non avrà ovunque la stessa estensione a cagione delle svolte del fiume, e di altre locali circostanze. Ogni fiume ed in generale ogni corso di acqua essendo fiancheggiato da questi piani inclinati, verranno le campagne ad avere pendenze determinate dai fiumi.

Anche i monti che lasciano dalle acque spogliare i lor fianchi delle terre, le quali si depositano parimente a gradi decrescenti, saranno fiancheggiati sulla pianura da piani inclinati estesi generalmente parlando in proporzione delle altezze dei monti, e dello sfacelamento che in loro può farsi.

Inoltre i torrenti ed i fiumi stessi essendo i luoghi ove le acque acquistano maggior forza si formano pure a piani inclinati, che protratti per tutta la lunghezza del loro corso acquistano delle inclinazioni indipendenti da quelle delle vicine campagne.

Il mare forma pure sul suo lido arenoso il piano inclinato, sebbene di men sensibile elevazione. I venti che scagliano i flutti contro il lido, alzano verso di quello le arene formando le così dette *dune*. Protraendosi la spiaggia cessano le agitate acque marine di salirvi, allorchè nelle massime maree ha potuto l'arena accumulata, superare di qualche cosa la primitiva spiaggia. Intanto da questa elevazione parte un piano dolcemente inclinato che si asconde nelle acque marine, e questo serve per fare scala onde i successivi flutti possano radunare nuove arene all'altezza della spiaggia, che poi il vento o qualche massima ondata eleverà al di sopra della precedente ampliazione della spiaggia. Estendendosi la spiaggia a grado grado sempre più elevata, necessariamente essa presenterà un piano alcun poco inclinato colla sua elevazione alla parte del mare.

Le notate classi di piani inclinati come bene recentemente ha esposto il chiarissimo mio collega Prof. Cuppari, determinano le pendenze dei terreni nella campagna, e per conseguenza la loro fertilità, i loro scoli, ristagni ec. Se una porzione della campagna rimarrà confinata dal monte, da un torrente che da questo discenda, dal fiume principale che divide la pianura, e dal mare o da un'altro torrente, dovrà avere in queste direzioni altrettanti piani che contrappongono la loro pendenza: in mezzo a questi formerà un bacino ove l'acque ristagneranno, seppure non si aprono il loro corso attraverso ad uno dei rammentati piani inclinati.

Da tuttociò rilevasi 1.° quanto sia facile che i corsi di acque generino nelle campagne delle pendenze nocive al facile loro scolo, e come si debba prevenire coll'arte questa disposizione naturale dei terreni in bacini, ove le paludi, e i ristagni possono avere origine. 2.° Che tra un fiume arginato, e un monte, ovvero tra due fiumi, i due piani inclinati contrapposti lasciano un basso nel quale necessariamente deve formarsi il canale di scolo per la interposta pianura. 3.° Che l'inclinazione dell'alveo del fiume dipende dalla copia delle sue acque, dalla natura del monte disceso, dai terreni che percorre, e dalla loro estensione.

E qui pure ripeterò che procuri l'idraulico di allontanarsi il meno possibile da questi processi naturali, giacchè come essi formano le più fertili pianure, così essi soli possono mantenerle. Che se è convenuto arginare un fiume, si procuri che il suo alveo non si alteri dopo l'arginazione, per modo da mostrare indipendenza all'adiacente campagna. Si potrà sempre con un regime bene inteso di lente colmate tenere attivo sulle campagne il benefizio di quel fiume che ne è stato l'origine. Pur troppo esistono esempi in Toscana di fiumi arginati, sù i quali non

si sono applicate queste regole! Pur troppo si sente riguardare i fiumi come i nemici delle campagne! Avrete sempre vedute più belle quelle pianure ove in maggior numero, o più grandi corrono i fiumi.

125. *Materie che sono nell'alveo.* — La disposizione delle materie è costantemente graduata: prima si rinvengono le pietre di maggior mole e di figura irregolare, dipoi si trovano i sassi rotondeggianti, indi le ghiaje e le arene, finalmente le sottili terre. Quindi in tre tronchi può dividersi un fiume: il primo ove si hanno grandi pietre e sassi rotondeggianti prende il nome di *torrente*, e agli altri due rimane più propriamente il nome di fiume, e distinguesi il primo dal secondo chiamandosi quello *fiume che corre in ghiaia*. V' ha qualche fiume ove il corso non può dirsi consecutivo ove sono bruschi cambiamenti di declivio, e che scorre alternativamente in ghiaia ed in arena, come il Rodano e il Rio delle Amazzoni.

Le ghiaje e le arene trasportate dai fiumi sono materie primigenie, sulle quali l'acqua non produce che piccole alterazioni come il rotondamento delle une, ed in parte lo sfacellamento delle pietre arenarie. Queste materie si van depositando negli alvei secondo la diversa pendenza di questi, e secondo il volume, peso e figura di quelle.

126. *Come possono aversi alvei stabiliti.* — Allorchè la forza delle acque per smuovere le parti del letto si trova in equilibrio colla resistenza di queste dicesi l'alveo stabilito. Differenti cagioni concorrono a determinare quest'equilibrio

1.° La velocità della corrente. Perchè l'urto di ogni particella d'acqua contro la scabrosità del letto deve esser proporzionale a questa velocità, ed il numero degli urti deve esser tanto più grande quanto più particelle passano, cioè proporzionale anch'esso alla velocità. Onde la forza corrosiva dell'acqua, come lavoro meccanico, sarà proporzionale al quadrato della sua velocità.

2.° Le materie che l'acqua trasporta. La torbidezza scema la fluidità dell'acqua come ha con l'esperienza provato il Mengotti, ed è in una certa proporzione colla velocità. Perciò quando essa è cresciuta ad un determinato grado non può l'acqua trasportare maggior quantità di materie. Quindi può dirsi che la forza corrosiva delle acque correnti viene indebolita dalle materie terrose che tengono in loro sospese.

3.° La resistenza del letto. Questa è proporzionale alla tenacità del terreno di cui è composto il letto del fiume. Per tenacità del suolo si deve prendere il complesso di tutte le circostanze che avvalorano la di lui resistenza; e quando trattasi di materie staccate come sassi, ghiaje, arene ec., si riduce al peso di queste, e alla loro figura e giacitura.

4.° L'escavazione del letto. La soverchia celerità produce l'escavazione e si estingue in questa. Giunti al termine del tratto ove può farsi l'escavazione, ivi avrassi un punto fisso relativamente a tutto il tratto superiore. Il che rende palese che quanto più il fiume escava tanto meno declive rende il fondo nel tratto successivo. Quindi andrà scemando la forza dell'acqua e crescendo la resistenza del fondo; e giungerà quest'ultima a pareggiare la prima. Allora si dirà il fondo stabilito in declività.

5.° L'interrimento del letto. Deposita il fiume quando il pendio è

molto dolce ed a gradi diminuisce, e poi ad un certo punto cessa il deposito. Ivi si ha un termine fisso relativamente al tratto superiore, che resterà tanto più basso dei punti superiori quanto maggior deposito in quelli si è fatto. Crescerà dunque coll'interrimento la pendenza: crescerà corrispondentemente la velocità, e cesserà la deposizione delle materie, e si avrà pure un limite alla declività, e il fondo potrà dirsi stabilito.

6.° La corrosione delle sponde e la loro protrazione. Ristretto il fiume per i depositi si accresce la sua velocità, come dilatato per le corrosioni quella si scema: onde nell'un caso cesseranno i depositi, cesseranno nel secondo le corrosioni, e potrà dirsi il fiume stabilito anche per la sua larghezza.

127. *Caratteri dell'alveo stabilito.* — I fiumi ad acque magre presentano maggiori resistenze che in piena, o di più effetto sulla piccola massa fluida; e perciò in piena ancorchè non si alteri la pendenza si ha una velocità molto maggiore. Onde ben di rado è dato di poter dedurre la velocità dal declivio del fiume. La massima velocità o il filone della corrente deve aversi poco al di sotto del pelo dell'acqua e in quella direzione ove corrisponde maggiore profondità. Nel luogo di maggior corrente la superficie fluida è minimamente rilevata (Tav. V. fig. 6), onde il profilo della sezione non presenta alla parte superiore una linea retta. La cadente o inclinazione dell'alveo si prende sempre nel solco della corrente, il quale suole essere al mezzo nei fiumi rettilinei ed uniformi, e nelle svolte si avvicina alla parte concava.

Posto che egual resistenza presentino alla corrosione le sponde ed il fondo, è chiaro che il filone dovrà essere equidistante dalle sponde e dal fondo, altrimenti la forza dell'acqua corroderebbe maggiormente quella parte che li fosse a maggior vicinanza. I fiumi dunque che scorrono dentro alvei formati di materia omogenea, avrebbero la larghezza doppia della profondità, quando l'urto della corrente non investisse punto le sponde. Avuto riguardo anche a questa cagione l'avranno più che doppia. Se il fondo di un fiume sia composto di materie più resistenti che le sponde, in maggior proporzione sarà la larghezza del fiume. Viceversa sarà minore la larghezza del fiume se cresce la resistenza delle sponde relativamente a quella del fondo.

Nei fiumi di portata variabile l'alveo si stabilisce entro a due termini corrispondenti, l'uno alla massima, l'altro alla minima portata del fiume. Perciò differente è lo stato del letto secondochè è corso più o meno tempo dall'ultima piena.

Siccome in quei fiumi ove è maggior la preponderanza tra la forza corrosiva e quella di resistenza, deve l'alveo stabilirsi in modo che l'escavazione non abbia effetto, così può dirsi che un alveo stabilito per escavazione, avrà tanto minor pendenza (125), e tanto maggiore larghezza, quanto maggiore sarà la portata del fiume, e quanto minore la tenacità del terreno per cui corre.

Egualmente l'alveo stabilito per interrimento avrà tanto minor pendenza e maggior larghezza, quanto il fiume sarà più copioso d'acqua e men torbido; giacchè allora sarà a quel grado di velocità che gli basta per sostener le torbe.

Così vediamo larghissimi e poco profondi i fiumi che corrono in ghia-

ju, ed hanno le sponde di terra. Vediamo che un fiume il quale corre sovra un suolo eterogeneo scema la pendenza ove scema la tenacità del suolo. Che i fiumi dalla lor sorgente fino alla foce ricevendo sempre maggiori quantità d'acqua, van scemando in declività, e il fondo si rende acclive negli ultimi tronchi di fiume che sboccano in mare con accelerazione assai rapida. Per perdere la pendenza hanno i fiumi in prossimità del mare molte svolte; si può ciò osservare nell'Arno verso Pisa, e nel Serchio dopo Ripafratta. Pure non mancano alcuni che van progettando di togliere le svolte al Serchio nel suo ultimo tronco, e con qual ragionevolezza lo giudicheranno coloro che leggono le pendenze di quel fiume qui appresso notate a confronto di quelle di altri fiumi. Molto contuttociò deve ripetersi dalle cause locali, e non possono stabilirsi in modo assoluto regole generali, come si potrà anche osservare nelle seguenti Tavole.

TAVOLA SUL LIVELLO DEI PRINCIPALI PUNTI DELL'ALVEO D'ARNO.

Nomi dei luoghi	*Migl. d'arco. fino al mare*	*Altezze in braccia sul livel. del mare*
Falterona	147	2825
Sbocco della Chiana	110	321
Levane	100	239
S. Giovanni	95	216
Figline	90	201
Sbocco della Sieve	77	122
Firenze	65	73
Signa	56	51
Montelupo	50	41
Empoli	45	37
Fucecchio	38	28
Castelfranco di sot.	34	25
Pontedera	26	18
Zambra	16 1/4	9
Pisa	7	0

TAVOLA SULLE PENDENZE NEL CORSO DEI FIUMI.

	Lunghezza	*Penden. media per metro*
Reno di Germania		
Da Reiscenau alla frontiera di Francia . .	420000m	0m,002242
Lungo il littorale Francese	222000	0,000653
Di là fino al mare	700000	0,000057
Arno		
Dallo sbocco della Chiana a Levane	16535	0,002894
Da Levane a Figline	16535	0,001341
Da Figline allo sbocco della Sieve	21496	0,002145
Dallo sbocco della Sieve a Firenze	19843	0,001362
Da Firenze a Montelupo	24803	0,000800
Da Montelupo a Pisa	71101	0,000344
Da Pisa al Mare	11575	— 0,000027
Serchio		
Presso Gallicano	. . . . .	0,009563
Da ponte a Moriano a ponte S. Quirico . .	3307	0,001690
Da ponte a S. Quirico a ponte a S. Pietro	6614	0,001439
Da ponte a S. Pietro a Ripafratta	5952	0,001304
Da Ripafratta al Mare	20834	0,000459

TAVOLA SOVRA GLI ELEMENTI DI ALCUNI CORSI D'ACQUA.

Denominaz. dei corsi d'acqua	*Stato dell' acqua*	*Larghezza media*	*Profond. med.*	*Pendenz. per metro*	*Velocità med.*	*Portata per 1" in m. c.*	*Osservazioni*
Reno di Germania . . .	ordinar.	514m,00	3m,63	0m,000115	0m,91	1673,000	Misure fatte da Brunings a Nimegue.
	in piena	521,00	4,93	0,000115	1,31	3393,000	
Weser. . . .	in magr.	105,00	1,96	0,000411	1,58	328,000	Misure fatte a Vinton.
	in piena	144,00	4,12	0,000550	2,41	1428,000	
Elba	in magr.	96,00	2,64	0,000254	1,15	294,000	Misur. fatte a Magdebourg.
	in piena	96,00	4,07	0,000363	1,63	639,000	
Reno d'Italia	in piena	52,80	4,18	0,000245	1,52	356,870	Misur. tra gli sbocchi della Samoggia e del Silare. Eu. Manfredi.
Po	in piena	288,80	11,40	0,000099	1,66	5447,991	Mis. tra Lagoscuro e Francolino.
Tevere . . .	ordinar.	74,00	2,95	0,000130	1,11	244,000	Mis. fatta dalla scuola degli ingegn. Pont. a Roma.
Sena.	ordinar.	„	1,20	0,000125	0,78	„	Osservazione di Chezy tra Surena e Neully.
Loira	„	„	„	0,000382	1,30	„	
Rhone. . . .	in magr.	„	„	„	1,46	„	Ad Arles.
Durana . . .	ordinar.	„	„	„	2,60	„	Sotto Sisteron.
Acquedotto felice. . . .	in magr.	0,84	0,76	0,000350	0,35	0,225	A Roma nel 1833.
Quaderna. .	in piena	„	„	0,002200	3,48	124,000	Nella provincia di Bologna, mis. presa superiormente alla via di Medicina, in una sezione di m. q. 36.
Arno.	in piena	„	4,57	„	0,923	„	Michelotti e Ximenes.

128. *Relazione tra la forma dell' alveo, e la velocità?* — La pendenza dell'alveo, la sua larghezza, e le sue risvolte, sono le cause principali che determinano la velocità. Non è da trascurarsi la qualità dell' alveo, che in alcuni torrenti può colle pietre ed altri ostacoli offrire gran cagione di ritardo alla corrente.

Dalla equazione del moto uniforme (115) nei canali si ha la relazione tra la pendenza e la velocità, che in qualche caso può essere adottata anche per i fiumi. Ad altre circostanze pari vedesi da quella che cresce la velocità al crescere della pendenza, e poco meno che in ragion diretta. Allorquando si ha in due fiumi sezione differente, e differente altezza di acqua, può anche a maggior pendenza corrispondere minore velocità: così leggesi che il Meno là dove tiene la normale larghezza di 300 piedi e una profondità di 6 piedi all'incirca, con una pendenza doppia di quella del Reno presso Mannheim, non corra niente più veloce di quest' ultimo fiume alla suddetta località ove possiede la normale larghezza di 1000 piedi e una profondità di oltre 25 piedi. Anche il nostr' arno da Pisa al mare ha in tempo di piena notabile velocità, sebbene sia il suo l'alveo orizzontale. La cadente del fiume si aumenta al crescere della piena, e perciò si aumenta anche la velocità. E poichè grandissima è la differenza della velocità anche nei grossi fiumi, dal tempo di magrezza a quella di piena; così anche l' alveo va in questi due stati a soffrire notabili alterazioni; e spesso non può ritornare alla situazione in cui era in una massima piena, se non ritorna una piena eguale. Varia anche secondo la grandezza della piena il punto di *battuta* della corrente nelle ripe, onde essa in un periodo scaverà ove nell'altro interra. Da queste grandi variazioni che si hanno nei diversi stati delle acque del fiume, ne viene la difficoltà nell'arte di reggere i fiumi. Nel Reno stà la velocità delle massime piene, a quella delle acque medie, a quella delle massime magre :: 2, 4 : 1,5 : 1. Questi rapporti crescono nei fiumi minori.

Il teorema del Castelli (57) che le velocità stanno in ragione inversa delle sezioni, spesso si verifica prossimamente anche nei fiumi, perchè non può prendere bruschi cangiamenti la direzione del pelo delle acque. Vedesi però che in prossimità alle sezioni più strette si ha un qualche sollevamento di livello, e dove la sezione dilatasi, si ha al contrario un' abbassamento.

Qualunque sia la figura dell'alveo, se la larghezza l è assai grande rispetto all' altezza viva a può per approssimazione porsi $s = al$, $c = l$, e si avrà

$$a\,p = 0{,}00006554.\,(v^2 + 0{,}0664\,v);\; Q = alv$$

Quando il moto della corrente è assai lento, si potrà trascurare il termine v^2, e perciò la velocità media è proporzionale alla altezza, e la portata al quadrato dell'altezza: Quando il moto della corrente è rapido si può in confronto di v^2 trascurare v, e perciò la velocità media è proporzionale alla radice dell'altezza, e i quadrati delle portate sono come i cubi delle altezze medesime. La prima di queste regole venne stabilita dal P. Castelli, e la seconda da Domenico Guglielmini, e sebbene questi celebri scrittori le dassero come generali deducendole da principj differentissimi, noi riconosciamo non esser queste che due limiti tra i quali va variando la relazione tra l'al-

tezza e la velocità, nè potersi nessuna delle due ammettere nelle mezzane velocità.

Le risvolte nei fiumi producono resistenze, ma non con la legge che si è stabilita per i tubi (97), essendochè in questi le risvolte non possono scemare la velocità di una sezione senza che quest'effetto si propaghi a tutto il corso del tubo, e nei fiumi potendo la sezione aumentarsi a misura che la velocità decresce, l'effetto delle resistenze locali non si estende che a qualche tratto prima e dopo la sezione impedita. Non si ha teoria che valga a determinare la diminuzione di velocità che viene per la tortuosità del fiume. Certo è nelle svolte si ha minor velocità ancorchè non scemi la pendenza dell'alveo, e che nei tratti di alveo tortuosi la linea descritta dal filone ha un massimo di curvatura, che corrisponde al massimo di curvatura della svolta. Il filone si inflette diversamente secondo le differenti altezze dell'acqua, quando la sezione dell'alveo non è rettangolare, come suole esser nei fiumi atteso le golene. Ed anche per questo l'urto della corrente contro la sponda si fa in luoghi differenti secondo il grado della piena. Il massimo del suo accostamento alla sponda corrisponde al massimo della sua curvatura: il filone trovandosi più prossimo alla sponda concava che alla convessa, presso la prima nascono i gorghi e le corrosioni, e presso la seconda han luogo le deposizioni. La corrosione fatta in una sponda, ne porta nella sponda opposta un'altra alquanto più piccola, perchè la velocità va scemando, e questa una terza nella prima sponda, e così seguitando a gradi decrescenti, si scerosse sempre la diminuzione della velocità.

129. *Della portata dei fiumi.*—Nel precedente paragrafo ho accennato di partirsi dalla equazione del moto uniforme per dedurre la velocità nei fiumi, ma ben di rado può farsi la ipotesi del moto uniforme, e quella equazione è più utile per dedurre, come si è fatto, alcune regole generali che per dare una misura della velocità o della portata di un fiume.

Piuttosto con minore inesattezza potrà supporsi il moto permanente (16) ed applicarsi l'equazione che per quello si è stabilita, nella quale vi è modo di tener conto delle differenze che possono presentare le diverse sezioni, e la curva che può prendere il pelo dell'acqua o cadente del fiume. E siccome non si potrà usare l'equazione

$$A = (N + N')\,Q + N''\,Q$$

per tutta la lunghezza del fiume, farà duopo prendere un tratto di fiume molto esteso, ove la cadente A sia assai grande, ed ove possa ritenersi che il tronco precedente non influisca sulla celerità di quel tronco che si considera: sarebbe in tale stato la sezione ove esiste una chiusa a cascata. Per le sezioni $s, s_{,}$.. ed i perimetri bagnati $c, c_{,}$.. che entrano nei termini dell'equazione, sarà bene scegliere quei luoghi ove esistono le maggiori variazioni nell'alveo, e per $l, l_{,}$... i tratti di fiume correspettivi che misurano le distanze fra quei luoghi, e per regola generale non si prenderanno questi più lunghi di cento metri. Questo modo di procedere ha il vantaggio di dedurre la portata senza operare in tempo di piena, e richiede solo di conoscere fino a quant'altezza giungeva la piena in quelle sezioni che si pongono in calcolo; pure può condurre a resultati molto inesatti, e

la chiamata allo sbocco o il rigurgito che accadesse alla foce possono aumentarne l' incertezza.

Meno lungi dal vero si andrà se determinisi con strumenti idrometrici la velocità media v, v'.. dell'acqua in più sezioni s, s'..., e adottato il principio che la portata si ha dalla sezione moltiplicata per la velocità, si prenda una media tra i diversi resultati ottenuti. Postochè fossero due, si avrebbe

$$Q = \frac{v.s + v's'}{2}$$

ben s'intende che il numero che si ottiene, esprime metri cubi di acqua, se per le sezioni e per le velocità si è usato il metro per unità di misura; e che dovrà quello moltiplicarsi per 1000 onde ottenere in kil. il peso dell'acqua che passa per una sezione del fiume in 1". Si son fatte esperienze sovra il Reno in tempi e in località in cui il fiume non ammette fra l'una e l'altra influenti, e si è ritrovato, come vedesi qui appresso, che le portate delle massime piene, stanno a quelle delle acque medie, ed a quelle delle massime magre

:: 13 : 2,5 : 1

Portate del Reno	*Massime piene*	*Massime magre*	*Acque medie*
In Basilea. . .	4624^{mc}	330^{mc}	865^{mc}
a Vieux Brisech	4630	340	885
a Kehl	4685	380	956
a Lauterburgo	5010	465	1106
Resultato medio.	4737	379	953

Si hanno delle difficoltà, come vedremo in seguito, per determinare la media velocità, quando non si voglia usare la regola (113) stabilita per dedurla approssimativamente dalla velocità superficiale. E non poca diligenza richiedesi anche per determinare la sezione: a piccoli tratti di distanza si esplorerà quanta sia la profondità dell' acqua da una ripa fino all'altra, e valendoci di queste profondità come ordinate rettangolari, si farà il disegno della cercata sezione.

Un terzo metodo per stimare la portata di un corso di acqua, sarà il seguente: questo potrà facilmente usarsi nei piccoli canali, o nei fiumi ove si abbia una chiusa che venga col suo ciglio a rialzare notabilmente il pelo dell' acqua. In caso che questa chiusa manchi si costruirà per tutta la lunghezza L del fiume, ammesso che non porti gran difficoltà o spesa; si procurerà che il suo ciglio resti bene in piano orizzontale, assai tagliente, ed elevato per modo da far cadere liberamente l' acqua. Conviene inoltre che l' altezza A dell'acqua al di sopra di quel ciglio sia maggiore di $0^m,06$ e minore del quarto della profondità della arrestata corrente dietro la chiusa. Allora l' esperienza ha mostrato che deve usarsi la formula

$$Q = 1,96\, L\, A \sqrt{A}$$

Posto che sia A maggiore del quarto della profondità dell' acqua converrà porre in calcolo anche la velocità v alla superficie, colla formula

$$Q = 1,92\, L\, A \sqrt{(A + 0,115\, v^2)}$$

Posto che la corrente porti tra uno e due metri cubi di acqua per secondo, si cercherà un luogo ove si possa con facilità stabilire un diversivo della larghezza l e sia $l > 0,^m09$, e minore del terzo della larghezza dell'alveo, ed inoltre $l \cdot A$ superi il quinto della sezione della corrente, immediatamente sopra il diversivo, e

sia $A > 0,^{mq}06$, si userà la formula

$$Q = 1,77\, i\, A \sqrt{A}$$

130. *Della foce*. — Nell' ultimo tronco del fiume, particolarmente in tempo di piena, il moto dell'acqua risente l'effetto della foce. Questo può esser differente, come diremo parlando de' rigurgiti, secondo che il recipiente ove si apre la foce, che suole essere il mare, abbia un livello basso o più alto in confronto a quello delle acque del fiume. Si accelera nel primo caso il moto, e si ha (Tav. V. fig. 8) *la chiamata allo sbocco*; nel secondo si ritarda e si dice che l'acqua del fiume è tenuta in collo da quella del mare.

La poca profondità che può avere il mare presso la foce del fiume, e le torbe che trasporterà la corrente sono cagioni di una progressiva protrazione nell'alveo. E questa protrazione può alterare l'alveo, perchè allungandosi è mestieri che ne scemi la pendenza ragguagliata, e si sollevi l'alveo precedentemente all'ultimo tronco. Ad evitare in parte almeno questa nociva protrazione di alveo, che è tanto rapida nei nostri fiumi Arno e Serchio, convien darsi cura che il fiume giunga con minima pendenza alla foce, e deponga le materie sulle campagne usandole nelle artificiali colmate, o facendole deporre sovra le golene, che si manterranno ben ampie ai due lati dell'alveo. Onde 1.° il crescere del fiume in prossimità della foce non dà norma per concludere il sollevamento del pelo nelle parti superiori o l'accrescimento della piena, 2.° in vicinanza dello sbocco il pelo delle piene è più inclinato che non è il pelo dell' acqua bassa, 3.° se l'acqua crescerà per alzamento di livello nel recipiente l' elevazione si farà molto sentire verso lo sbocco: viceversa se crescerà per una piena del fiume si avrà maggior sollevamento nei tratti superiori, 4.° l'alveo mostra in prossimità della foce delle irregolarità o alternative di depressione ed elevazioni, 5.° La protrazione alla foce, ed il conseguente sollevamento dell'alveo si dovrà temere tanto più, quanto l'ultimo tronco conserva maggior pendenza.

131. *Delle Chiuse*. — Nei fiumi ove si avrebbe molta pendenza si fanno spesso delle chiuse a guisa di argini, che attraversano l'alveo fino ad una certa altezza, ed hanno per scopo di alzare per qualsivoglia fine il livello dell'acqua. Una chiusa piantata sotto la superficie fluida in guisa che non si presenti mai a fior d'acqua, prende il nome di *chiusa fondale*. Quella che supera il pelo dell'acqua e può solamente esser coperta nelle grandi piene dicesi *chiusa a cascata*. Ed una chiusa che possa venire aperta e serrata mediante un qualche meccanismo, dicesi *a cateratte*. Le prime se sieno in luoghi assai pianeggianti, costruisconsi non molto alte con pali, ed anche con tavole traverse o travi, e si chiamano pescaje, e servono per le prese dell' acqua (118). Se trattasi di luoghi scoscesi, come nei torrenti si chiamano *serre*, e si costruiscono con molta stabilità di muramento, avendo per scopo di rendere pianeggiante il tratto superiore del fiume. Le une e le altre mostrano la chiamata allo sbocco (Tav. V. fig. 9, 10) in tempo di mediocre piena, e ciò quando non eccessivamente alto rimane il pelo dell'acqua sulla cresta della pescaja, o della serra. Ben diverso però è lo scopo a cui si destinano, essendochè le pescaje per prendere l'acqua non devono lasciare interrare l'alveo, ed all'in-

contro le serre usandosi per diminuire la pendenza dell'alveo, producono il loro effetto col fare sollevare il tronco superiore. Quindi ne viene che si fanno il più spesso le steccaje amovibili, cioè si usano le chiuse a cateratte. Queste aperte in tempo delle grandi piene lasciano il fondo in balìa della corrente, e perciò viene da quella sgombrato delle materie che si erano ammassate dietro la chiusa. I torrenti si suddividono spesso in tronchi molto brevi per mezzo di frequenti serre, le quali mentre rendono pianeggiante il tratto superiore arrestano il trasporto delle pietre lungo l'alveo. Vengono esse così anche a scavarlo perchè non riportandovisi quelle pietre che si sono corrose dalle acque e dalle intemperie, o che sono state levate dalla mano dell'uomo, ne rimane l'alveo vuotato. Una gran parte dell'arte di reggere i torrenti consiste nel bene studiato uso delle serre, e principalmente da noi che ne abbiamo moltissimi come l'Ombrone, il Bisenzio, l'Agna ec. che in alcuni punti sono col loro letto molte braccia elevati al di sopra delle campagne.

Tutte le chiuse scemano la velocità delle acque e dan luogo ad un rigurgito, del quale parleremo in seguito; quelle fondali danno un effetto assai piccolo in tempo di piena, e quelle a cateratta producono una diminuzione pure piccola, ma le serre hanno per principale scopo il moderare la velocità dei torrenti. Per conservare al di sotto di una chiusa il filone al mezzo dell'alveo occorre di tener la sommità dell'edifizio un quarto di braccio circa più depressa nel centro. Anche il costruir le serre come suol farsi a centina, che volga la convessità verso il tronco superiore, mentre dà stabilità al muramento, contribuisce al medesimo effetto. Meglio è che sieno di moderata altezza, e più spesse, perchè l'escavazione che produce al loro piede la caduta di acqua può porle in pericolo. Che se nell'uso della serra verrà colmato il vano compreso al di sotto del suo *ciglio*, e le sopravvenienti materie verranno sospinte oltre alla serra, può in seguito sollevarsi maggiormente il ciglio, e moltiplicarsi le serre da ridur minimo quel trapasso di materie grosse.

Le chiuse per la presa di acqua, come le serre sono troppo importanti perchè non debban far soggetto di cura e sollecitudine per ogni savio Governo. Le une mentre sono vitale elemento d'industria per le prese di acqua a pro delle lavorazioni, quando sieno fisse alterano il letto del fiume, sollevano il pelo delle acque nelle piene, in modo da far temere le rotture degli argini, e ritardano lo smaltimento delle acque: quindi fa duopo raccomandare le chiuse a cateratta di bene intesa costruzione. Le altre cioè le serre nei torrenti rattengono le grosse pietre, e i ciottoli al monte, impediscono i pericolosi sollevamenti degli alvei nei torrenti, e moderano la velocità, e perciò le piene sulla pianura dovrebbero esser mantenute in gran numero, e di stabile costruzione.

152. *Confluenti.* — L'unione di fiumi e le nuove inalveazioni hanno relazione con i confluenti e respettivamente con i diversivi. Molti effetti dei diversivi combinano con quelli dei confluenti quando le piene in questi non seguono contemporaneamente. Portandosi un dato fiume a sboccare in un'altro parimente conosciuto, si potranno determinare gli innalzamenti di livello e la velocità, mediante le rammentate equazioni

(128. 129), purchè prendasi per Q la somma delle portate de' due fiumi. Ma gli alvei essendo ordinariamente alterabili, a quelle dovrà aggiungersi un'altra equazione che esprima la pendenza che conviene ad una certa portata sotto una determinata tenacità del suolo. Questa relazione manca alla scienza e per supplirvi convien ricorrere ad osservazioni e congetture fatte o sovra il medesimo fiume ove l'alveo è stabilito, o sopra fiumi consimili. Propone il Frisio di ritenere che la pendenza del recipiente varii dopo la confluenza in ragione reciproca della portata; ed il Guglielmini di valutare le pendenze in ragion reciproca sudduplicata delle portate. Certo però sarà che quando le piene nei confluenti seguono contemporaneamente e l'influente non porta al punto d'unione materie più gravi di quelle che vi deposita il recipiente, l'alveo del recipiente dopo la confluenza richiederà minor pendenza di prima. Si abbasserà conseguentemente il suo fondo, e ciò porterà un abbassamento anche nel tratto superiore, e le piene vi si produrranno meno alte. Nel tratto inferiore sarà dubbio se le piene scemeranno per i due effetti opposti prodotti dallo scavamento del fondo, e dall'aumento della portata. L'esperienza su ciò ha mostrato al Guglielmini che più vale l'escavazione del fondo a tener bassa la superficie, di quello che possa l'alzamento del pelo elevarla. Si abbasserà per l'accrescimento della portata anche la foce, e questo produrrà uno sbassamento in tutto l'alveo superiore.

Portando l'influente al punto di unione materie più grossolane di quelle che vi sono per effetto del recipiente, sarà il fondo di quello più resistente che il fondo di questo, e non si sbasserà, anzi si avrà un deposito nel recipiente, e verranno perciò a mancare molti dei sopra rammentati vantaggi.

La piena dell'influente non contemporanea a quella del fiume rialzerà il letto del fiume superiormente allo sbocco per il tratto del rigurgito. Lo stesso produrrà nell'ultimo tratto dell'influente la piena del fiume non contemporanea alla piena di quello. Queste stesse osservazioni posson farsi anche quando il recipiente sia un lago o il mare.

Si calcola la portata massima in un tronco del fiume dalla somma delle portate in piena di tutti i confluenti, ed il letto stabilito di quel tronco se si interra alla piena di un influente, verrà a scavarsi alla piena generale, e la sua posizione oscillerà fra determinati limiti (128).

La confluenza dei fiumi deve farsi in modo che l'angolo di lor riunione risulti quanto più si può acuto, per non recare danno all'opposta sponda del recipiente, e per evitare in esso quanto si può il rigurgito.

133. *Diversivi*. — Nei progetti di nuove diversioni conviene avvertire che la natura c'insegna essere le foci de' fiumi naturali a qualche non gran profondità sotto il pelo basso del recipiente, e stabilita così la foce potrà assegnarsi per pendenza quella che è richiesta dalla natura di quel fiume. Non potrà aversi questa posizione dell'alveo che approssimativa, perchè non è possibile calcolare con precisione l'alterazione che il diversivo recherà nel fondo del recipiente. Meglio sarà che l'alveo riesca più alto che più basso del dovere.

I diversivi che scemano notabilmente le acque in un fiume, ne di-

mantengono nei tratti inferiori anche la velocità, e vi cagionano dei depositi.

Quelli che si stabiliscono solamente in tempo di piena non producono un effetto nocivo di interrimento tanto grande, perchè il massimo deposito si fa ad acque magre, o quando le acque sono per abbassarsi; onde cessando di agire il diversivo quando le acque si abbassano, si scaveranno i luoghi che erano stati interrati. Molto più se essi sono piccoli a confronto del fiume. Questi possono aver luogo per produrre una rotta artificiale la quale in gran piena per qualche tempo sottragga la quantità d'acqua che occorre per riempire l'alveo di diversione; ovvero si posson fare per colmare un terreno basso, ed allora cessano d'agire appena scema la piena, e sono di piccolissima sezione a confronto del fiume.

Si stabiliscono diramazioni da un fiume anche per vantaggio dell'industria, alimentando un canale di navigazione, o di opifici, o irrigando le aride campagne. Due regole per questi stabiliremo quando le acque del fiume trasportino materie: è l'una di derivarli da quei luoghi ove il molto declivio del fiume lascia alle acque velocità per trasportare le materie: l'altra richiede che l'acqua tolta sia la minor parte possibile in riguardo a quella che rimane nel fiume. Che se le acque del fiume son chiare potrà togliersi anche tutta l'acqua come suol farsi sui torrenti in tempo di scarsità d'acqua.

Non lasceremo di avvertire che i diversivi stabiliti in tempo di piena devono avere la loro imboccatura ben studiata, perchè non si interri il loro letto, nè troppo si scavi. Accaderebbe l'interramento se poca velocità vi acquistasse l'acqua, se ve ne potesse acquistar molta, tenderà a dilatarsi l'apertura ed a dirigersi nel diversivo un maggior corpo di acque con danno del fiume, e sarebbe anche a temersi quando le ampliazioni nel diversivo fossero facili, e facile vi si facesse il corso, che il fiume in quello tutto si riducesse mutando alveo.

154. *Rigurgiti provenienti da diverse cagioni.* — Poniamo, che essendo A B (Tav. V. fig. 7.) il fondo del fiume, ed A′ B′ il suo pelo naturale, quello cioè che si avrebbe col solo impedimento delle resistenze uniformi, nella sezione B B′ venga il corso del fiume interrotto sboccando esso in un recipiente di superficie orizzontale. Se il pelo B′ D del recipiente va a congiungersi col pelo F A′ B′ del fiume nella sezione B′B′, dello sbocco il corso del fiume non soffrirà alterazione veruna, giacchè le pressioni che fa l'acqua del recipiente su diversi punti della sezione BB′ sono quelle stesse che avverrebbero anche quando continuasse il corso del fiume. Se il pelo A′ E del recipiente incontra quello F A′ B′ in un punto superiore alla sezione B B′ dello sbocco, il corso del fiume allo sbocco sarà ritardato, e si avrà un'inalzamento dell'acqua del fiume fino alla sezione A A′, ove potrà ripetersi quello che si è detto nel caso precedente per la sezione B B′. Nel primo caso non si avrà rigurgito e nel secondo il rigurgito si estenderà dalla sezione B B′ all'altra A A′ cioè per tutto quel tratto che porta il prolungamento dell'orizzontale E A′. Sovra tale estensione del rigurgito si sono dagli autori avute diverse opinioni, e per quanto la teoria da me accennata delle eguali pressioni fatte dall'influente e dal recipiente sembri sodisfacente, e sia

anche confermata da qualche esperienza fatta dal Prof. Bertini pure la riterrei solo per il rigurgito che dà una variazione di livello sensibile. Poichè non può ammettersi che la acque entrino nel recipiente facendo nel loro pelo decisamente l'angolo F B' D, ovvero F A' E, a grado a grado deve consumarsi quell'angolo disponendosi il pelo dell'acqua per una curva, ma il genere di questa porterà ben piccolo e forse insensibile inalzamento al di là de' limiti sopra indicati. Proseguendo a considerare il terzo caso che sia il pelo *c b* del recipiente inferiore a quello della sezione BB' si scorge facilmente che in questo caso il corso del fiume deve allo sbocco accelerarsi, perchè non trova l'acqua più contrasto alla parte anteriore delle sue sezioni, il quale faccia equilibrio alla pressione che è alla lor parte posteriore, e deve cadere in basso per l'effetto della gravità con moto accelerato. Questa accelerazione vien detta la chiamata allo sbocco (130), e per essa si abbasseranno le diverse sezioni nell'ultimo tratto del fiume, e si inalzeranno quelle del recipiente in prossimità allo sbocco presentando il pelo dell'acqua influente una curva F G. Questa chiamata allo sbocco si ha più sensibile in un condotto (Tav. V. fig. 8) dall'estremità del quale cada l'acqua in un recipiente sottoposto.

Egualmente una chiusa (Tav. V. fig. 9.) D E che intercetta il corso per tutta la larghezza, solleverà l'acqua finchè non trabocca dal ciglio. Il rigurgito sarà rappresentato dalla massa d'acqua C A F, e la sua superficie sarà prossimamente quella della figura, ove si intenda il disegno fatto con una scala per le altezze. 900 volte più grande che quella per le lunghezze: l'altezza del rigurgito è C F presso alla chiusa, e C A forma la sua ampiezza. Rappresentando l'altezza dell'acqua C *g* sulla chiusa con A secondo l'esperienze di M. Castel, come si è detto di sopra (129) si ha

$$Q = 1{,}96\, L A \sqrt{A} \qquad A = 0{,}64 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{L^2}}$$

e perciò si conosce l'altezza di tutto il rigurgito che è F *g* + A. L'altezza del medesimo ad una distanza data dalla chiusa è deducibile dalla curva che prende la superficie fluida. L'ampiezza anche qui riterremo essere indeterminabile perchè notabilmente sorpassa l'ampiezza idrostatica, e si perde in modo insensibile come si è detto di sopra colla sua estremità nella corrente naturale. Vi sono altri rigurgiti descritti e studiati da Bidone allo Stabilimento Idraulico di Torino che provengono da ostacoli o chiuse meno elevate, e presentano una forma del tutto differente, hanno superficie convessa ed un brusco distacco dalla corrente naturale tanto per la parte anteriore che per la parte posteriore; ma non si ottengono che quando l'acqua ha poca altezza viva, e notabile velocità. Questi sembra che provengano da un'urto della corrente, ed infatti l'ampiezza in essi è minore di quella idrostatica, e la differenza fra queste rimane la stessa al variare della portata *q*, e cresce al variare della velocità *v*. Ciò si vede nella seguente tavola di resultati sperimentali, ove anche *a* rappresenta la altezza della corrente al di sopra del rigurgito, *p* la pendenza del canale, *a'* l'altezza della chiusa, *a''* l'altezza del rigurgito al di sopra della chiusa, e *a'''* l'ampiezza di esso, e *a''''* l'ampiezza idrostatica: tutto in metri

	a'	a''	a'''	a''''
$q'=0,0206$	0,154	0,102	4,53	6,69
$v=1,561$	0,160	0,100	4,87	7,44
$a=0,047$	0,188	0,102	5,70	8,28
$p=0,035$	0,217	0,102	6,55	9,04
$q=0,0351$	0,136	0,137	3,66	7,82
$v=1,683$	0,161	0,140	4,44	8,17
$a=0,062$	0,189	0,143	5,22	9,01
$p=0,032$	0,215	0,144	5,87	9,71
	0,242	0,145	6,69	10,29
$q=0,0467$	0,135	0,167	3,36	7,90
$v=1,956$	0,161	0,168	4,09	8,61
$a=0,074$	187	0,167	4,70	9,31
$p=0,032$				

Consimili dottrine debbono stabilirsi per i rigurgiti che han luogo per effetto dei confluenti (132), e per effetto degli ostacoli che si oppongono anche parzialmente al corso della corrente (135).

135. *Di alcuni ostacoli che si oppongono alla corrente, e in specie dei pennelli.* — Molte sono le costruzioni che si fanno ne' fiumi, capaci di ristringere bruscamente la sezione, noi ci occuperemo solo dei ponti e dei pennelli. Sempre l'accrescimento della celerità nella sezione ristretta, deve produrre un sollevamento del pelo d'acqua (128) nel tratto precedente alla costruzione. Questo deve formare la caduta capace di dare l'aumento tra la velocità V nella sezione alterata S dal sollevamento, e quella V' nel luogo della sezione ristretta S'. Onde lo esprimeremo con

$$x=\frac{V'^2}{2g}-\frac{V^2}{2g}=\frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{S'^2}-\frac{1}{S^2}\right)$$

Dalla qual formula si potrà avere l'altezza x del rigurgito, quando si conoscano le velocità V, V' oppure quando si conosca la portata Q, e si sostituiscano in luogo di S, S' i loro valori, avvertendo che in S' sarà molte volte la contrazione.

I ponti costruiti sù fiumi ristringono la sezione, e dan luogo all'applicazione delle precedenti dottrine. Sia l la somma delle larghezze nelle luci degli archi, ed L la larghezza del fiume, a l'altezza dell'acqua sotto il ponte avremo

$$S'=mla \quad S=L(a+x)$$

ove il coefficiente m di contrazione secondo Eytelwein, deve prendersi 0,85 allorchè le pile presentano per piano le loro faccie alla corrente, e 0,95 quando sono terminate da un angolo acuto, e può ancora avere valore più prossimo all'unità se il taglio dello squarcia-corrente sia un triangolo equilatero a lati curvi in arco di cerchio, o sia una semiclisse allungata. Nel fare uso di questi valori per l'equazione precedente, fa duopo notare che l'abbassamento (Tav. V. fig. 12) che segue subito dopo il ponte, è al di sotto anche di qualche cosa al pelo permanente, che dopo un certo tratto è ripreso dalla corrente. La contrazione che si fa alla luce del ponte dà luogo a dei seni in prossimità delle pile, ove l'acqua vien come separata dalla corrente, e per l'urto che riceve, acquista celere moto rotatorio con danno della costruzione: e questo è altro motivo che si aggiunge al rigurgito per dare allo squarcia-corrente la forma di semiclisse allungata, che secondo l'esperienze è la più adottata per diminuire la contrazione. Al di dietro delle pile rimane pure l'acqua quasi stagnante e vi deposita delle materie, e vi formerebbe un vortice pericoloso, se non si facesse anche lì una aggiunta di muramento eguale a quello che è alla parte anteriore.

Non può trascurarsi quella sorta di ripari che sono destinati a fermar le corrosioni sulla sponda coll'allontanarne o deviarne il filone, e ven-

gono detti *pennelli*. Questi perchè abbiano il massimo effetto per deviare il filone, potranno farsi rettilinei ed inclinati ad angolo ottuso colla ripa superiore, e la loro direzione si volgerà ad un punto alquanto superiore a quello ove vuole mandarsi il filone, tendendo la corrente oltrepassato il pennello a descrivere una curva presso a poco parabolica. Ben di rado però ci si propone di dirigere il filone verso l'opposta ripa, e il più delle volte si vuol mantenere parallelo a quella, e si vuol rimuovere dalla ripa ove si è fatta la costruzione. Quindi miglior partito credo sia di farli normali (Tav. V. fig. 15) alla ripa come vedesi in A: così offrono il vantaggio del minimo di costruzione, e di togliere quasi in totalità la corrente alla faccia anteriore di essa. Come vedesi nella figura, tanto alla parte anteriore quanto a quella posteriore, si determinano due spazj triangolari ove l'acqua tenderebbe a rimanere in quiete, ed acquista un moto rotatorio per l'urto eccentrico, che lungo il lato esterno riceve quella massa di acqua dalla corrente. Un tal moto rotatorio da luogo a due correnti che percorrono le due facce del pennello dalla ripa alla punta. Queste tenderebbero a scalzarlo; e più verso la punta, ove incontrandosi colla corrente principale, danno origine a dei vortici sì pericolosi per la costruzione, che quasi nessuno di tali pennelli a squadra, si è potuto reggere a lungo tempo. Il sig. Ispettore Materassi ha dato bellissimi esempj di uso di tali pennelli sull'Arno e sul Serchio: Egli non ha tenuto l'estreme del pennello tutto in una fronte verticale, lo ha terminato a scarpa con uno e un quarto in pianta per ogni unità d'altezza. Questa disposizione mentre evita in gran parte l'effetto dell'urto della corrente darebbe l'altro del trabocco, cioè l'acqua della corrente scavalcato l'ostacolo alla punta ove è più basso cadrebbe al lato posteriore, ed ivi tenderebbe a produrre un'affondamento, e accrescerebbe il rammentato moto vorticoso alla punta, se non avesse egli usato una forma particolare alla punta del pennello. Consiste questo utilissimo ritrovato in foggiare l'estremità del pennello colle tre seguenti parti. La prima che stà al lato da dove viene la corrente, ha la forma di una piramide triangolare di cui il vertice è alla sommità del pennello, e la base viene formata dal triangolo rettangolo che ha per cateti la larghezza della scarpa che è al fianco del pennello, e la larghezza della scarpa che è alla sua punta. Questa serve ad allontanar la corrente dalla punta di quel poco che non può offendere la ripa opposta del fiume, ma che vale a diminuire l'urto contro la punta della costruzione. La seconda parte posta a contatto e framezzo alle altre due è un prisma triangolare retto, che ha le basi in piani verticali, ed una è la stessa faccia di contatto della indicata piramide; il lato del prisma è dato dalla larghezza che il pennello ha in cresta. La terza parte resta sotto corrente, ed ha la forma di un solido conterminato dalle quattro seguenti faccie, la prima piana e verticale lo attacca al prisma ora rammentato, ed è l'altra base triangolare del prisma istesso: la seconda è orizzontale, e lo attacca al suolo, ed ha la forma di un rettangolo i cui lati sono la larghezza della scarpa della punta, e la larghezza della scarpa che ha il pennello a questo lato sotto corrente: la terza

pure piana e verticale, è il triangolo rettangolo che lo attacca al fianco del pennello: la quarta finalmente, unica faccia che rimane scoperta, è una superficie curva incavata e non sviluppabile, e può dirsi formata da una generatrice rettilinea che ha per sue direttrici due rette, che giacciono in piani verticali paralleli, delle quali una orizzontale è un lato del rammentato rettangolo, e l'altra inclinata all'orizzonte è l'ipotenusa di quello tra i rammentati triangoli che rimane di faccia al lato prescelto. Una tal superficie offre il vantaggio: 1.° di insistere sovra un fondamento assai esteso, e di forma rettangolare, che rende solido contro la forza dell'acqua il luogo ove tende a prodursi lo scavo: 2.° di presentare eguale generazione tanto alle acque che vengono per trabocco al disopra della punta, quanto a quelle che di striscio si avanzano lungo il pennello: 3.° di fare scendere l'acqua per il suo concavo, e portarla in direzione parallela al fondo del fiume. Ora io ho riscontrato che produce benissimo il suo effetto, e tanto rimane inalterabile dalle acque, che spesso dopo la piena la ho osservata ricoperta di un piccolissimo rivestimento di terra depositata dall'acqua. Ottimamente adunque tali pennelli a squadra agiscono per interrare l'alveo, e per protrarne la ripa nei luoghi ove è divenuta eccessiva la larghezza del fiume. Un solo pennello però difficilmente potrà reggersi, ove più di essi produrranno ottimo effetto. Ajutano i depositi tra l'uno e l'altro traversante o pennello insormontabile, i traversoni che sono più bassi, e più corti, le piantate dei vetrici ec. ed a tuttociò aggiunta la vigile cura dell'uomo, si ottiene la formazione della nuova ripa, come se ne vedono bellissimi esempi nei due nostri rammentati fiumi.

136. *Delle masse molenti, e dei moti vorticosi.* — Più volte, particolarmente nel paragrafo precedente, ho dovuto rammentare i moti vorticosi come nocivi, ed ora credo dover su quelli trattenermi, poichè somma ha da essere la cura dell'idraulico pratico nell'evitarne i danni, e non può lo scienziato trascurarli formando essi gran parte delle leggi del movimento dell'acqua.

La legge del Castelli che ho detto (128) alcune volte verificarsi per approssimazione anche nei corsi aperti, ha per principio antagonista la formazione dei moti rotatorj. Infatti ogni qual volta da una sezione si ha da passare per gradi insensibili ad un'altra assai differente, si scorge continuità nel moto il quale propagandosi per tutta la massa, scema la velocità al crescere della sezione: ma allorquando è brusco il passaggio dall'una all'altra sezione che le è assai differente, si separa dalla corrente una massa di acqua che rimane molente, cioè in moto rotatorio. Così in un canale (Tav. V. fig. 13) ove sia tra due parti strette un'allargamento B, sebbene a quello si passi col mezzo di una curva, pure la corrente tiene anche nella parte dilatata presso a poco la larghezza delle parti strette, e lascia come separata la massa di acqua che si raccoglie nel seno della curva; solo agli strati più prossimi di quella comunicandosi come per urto eccentrico (*Mec.* 212) il moto si rimette a poco alla volta anche quell'acqua in corso per moto rotatorio. Lo stesso accade anche alla parte anteriore e posteriore del pennello A come mostra la figura citata,

è in mille altri casi non solo ove il piano di rotazione è pure orizzontale, ma anche quando è verticale, come alla parte anteriore delle chiuse (Tav. V. fig. 9, 10) e alla soglia di una serracinesca (fig. 11) siccome mostra l'andamento dei freghi che nelle figure indicano i filetti fluidi. Un'angolo deciso o una parte sporgente, come vedesi nelle fig. 16, 17, 18, 19, 20, 21, si fanno ripetuti e più sentiti e con piccolo raggio di curvatura, e possono propriamente chiamarsi moti vorticosi. I piccoli vortici son frequentissimi negli alvei, perchè può bastare un sasso, o una piccola irregolarità nell'arena dell'alveo per decidere uno di tali vortici. E quando una massa di acqua ha preso moto rotatorio, non desiste da quello finchè non ve la costringe o l'effetto delle resistenze, o un'opposta cagione: quindi vedonsi spesso tali vortici progredire come tutti di un pezzo seguendo l'andamento della corrente.

Il vortice fisso che è prodotto in un luogo ove la corrente ha molta velocità diviene pericoloso, giacchè scava maravigliosamente il terreno a guisa di trivello, e non poche volte ne sono rimasti guasti anche i più solidi muramenti. Io credo si spieghi il fenomeno per la forza centrifuga, combinata colla pressione idrostatica. Il moto rotatorio dell'acqua essendo comunicato ai piccoli solidi che stanno sul fondo dell'alveo, questi per la forza centrifuga lasciano libera e perciò scavata la parte centrale, e col loro attrito ajutano lo smuovimento degli altri solidi sottoposti che ne sono come i primi cacciati e sollevati dalla forza centrifuga. Intanto affondandosi l'alveo si fanno più alte le sovrastanti colonne liquide messe in moto rotatorio, e crescendo perciò la loro pressione cresce la forza escavatrice. Unico limite all'escavazione sarà la ristrettezza del vortice, la quale quando esso è molto profondo, può impedire il sollevamento per forza centrifuga delle materie solide.

Questi moti rotatori occasionano una notabile perdita di forza viva, che si impiega negli indicati effetti di escavazione per i vortici, e di interro per le ampie masse molenti. Infatti mentre negli uni, secondo le considerazioni di Leonardo da Vinci, la celerità de' differenti strati cresce a misura che ci si avvicina al centro, negli altri la massa è quasi stagnante al centro. Per dare un'idea del calcolo di questa forza viva, si ponga mente alla celerità v' colla quale si ripone in corrente la massa ruotante sfuggendo dalla sua periferia, e la celerità V' colla quale entra dalla sua periferia in moto rotatorio: indicando con M la massa che ponesi in circolo, o ne sorte in 1" sarà $MV'^2 - Mv'^2$ la forza viva perduta. Ora nei moti vorticosi la cagione è un'eccesso di velocità, e perciò è V' molto maggiore della celerità v della corrente, e v' ne è di poco inferiore. Nelle masse molenti V' è poco inferiore alla detta velocità v della corrente, mentre v' è estremamente piccola. Può adunque dirsi che in generale la produzione dei moti rotatori è il mezzo di cui la natura si serve per dissimulare nelle masse fluide la forza viva, ove dovrebbe farsi una brusca propagazione di moto, come le vibrazioni lo sono pure nelle masse solide.

157. *Delle piene.* — Effetti grandiosi delle piene sono 1.° la progressiva elevazione nell'alveo dei torrenti: 2.° la continua protrazione della loro

foce o sbocco: 3.° le alterazioni che si fanno al corso del fiume, e ai ripari opposti alla violenza dell'acque: 4.° la grande elevazione nel pelo di acqua, e conseguentemente l'aumento di pressione e di velocità: 5.° gli aumenti dei rigurgiti contro gli estacoli alla corrente, e delle sinuosità del pelo d'acqua.

Anche di questo soggetto ho dovuto stabilire molte dottrine nei paragrafi precedenti particolarmente circa al rapporto tra la velocità in tempo di magrezza ed in tempo di piena (128), e le alterazioni diverse che seguono nell'alveo in questi due stadj (127), o la posizione del filone.

Ora è utile che io faccia avvertire che i rigurgiti prodotti dalle chiuse in tempo di piena si fanno molto minori, perchè la cresta della chiusa rimane molto profonda al di sotto del pelo dell'acqua. Così nell'Arno all'occasione della famosa piena del 3 Novembre 1844 non si produsse sensibile rigurgito dalle steccaje: la chiamata allo sbocco però si mostrò sentitissima essendo il pelo dell'acqua dal livello basso del mare alle altezze qui notate per le respettive distanze dal mare.

Distanze		*Altezze*	
miglia	1	braccia	1,91
—	2	—	4,11
—	3	—	5,53
—	4	—	6,66
—	5	—	7,51
—	6	—	8,93
—	7	—	9,18
—	8	—	10,72

e presso a poco avendo tenuta questa altezza ben di poco accresciuta nei tratti superiori ove più non si ha la orizzontalità del letto. Al contrario i rigurgiti che provengono dai pennelli, o dai ponti, cioè dagli ostacoli non sormontabili dal pelo dell'acqua si aumenteranno. Nella rammentata piena era l'altezza del rigurgito ai ponti come qui appresso noterò, sebbene l'inondazione fosse estesa per Firenze e in altri molti luoghi.

Altezza del rigurgito ai Ponte

di Figline	braccia	0,75
a Rosignano	—	1,30
di ferro	—	0,90
alle Grazie	—	1,56
Vecchio	—	1,78
S. Trinita	—	0,84
alla Carraja	—	0,60
a Bocca d'Elsa	—	0,00
a Bocca d'Usciana	—	0,20
a Bocca di Zambra	—	0,18
alle Piaggie	—	1,37
di Mezzo	—	1,03
a Mare	—	0,10

Le masse di acqua molente verranno dalla piena ridotte giacchè provengono queste dalla gran differenza (136) che sarebbe tra le velocità nelle sezioni se avesse luogo la legge del Castelli, e questa differenza diminuisce al crescere la velocità della corrente.

Notando come fo qui appresso le massime piene dell'Arno delle quali si è conservata memoria per l'inondazione e danni che han prodotto in Firenze (l'altezza dell'acqua è computata in Firenze relativamente al basso livello del mare), si comprenderà essere accaduta una piena massima circa ogni cento anni, ed altre otto piene grandi per ciascun secolo potrebbero dalla storia dedursi. Onde dalle

meteoriche condizioni più che dallo stato dell'alveo sembrano dipendere le grandi piene. Lo scioglimento delle nevi prodotto dallo scirocco, e le continuate generali pioggie ne sono le cagioni. Possono presso Pisa essere le piene mantenute dalla resistenza che oppongono alla foce le acque marine tenute alte dal libeccio, e la corrente del mare da mezzogiorno a tramontana, ed il cumulo delle arene che nelle tempeste marine suol farsi alla foce. E sebbene la mutazione della foce d'Arno cominciata nel 1606, e principalmente l'addirizzamento eseguito presso Barbaricina nel 1774 dietro la proposizione del Meyer, han contribuito a tenere l'alveo scavato in Pisa e possono esser cagioni di più sollecito smaltimento delle acque; pure avvertendo che dopo il 1761 abbiamo avuto grandi piene negli anni 1780 1804 1809 1839 1844 convien concludere che non sien le piene diradate, e neppure rese più grandi.

Piena del 1.° Novem.		1333	> 54^{m}
—	—	1456	50,190
—	12 Settembre	1552	53,097
—	—	1677	>50,200
—	3 Dicembre	1740	50,950
—	1 Dicembre	1758	50,800
—	14 Novembre	1761	50,200
—	3 Novembre	1844	51,036

Non è così nel Serchio; ivi le piene sono molto più rapide che nell'Arno, ora giungono nel territorio pisano anche solo 8. ore dopo le pioggie. L'elevazione di esse è andata sempre aumentando, e misurata quella all'idrometro di Ripafratta sopra il livello basso del mare si sono ottenuti i qui appresso resultati. Una delle cagioni di questo aumento possono esser certamente in un fiume che già aveva moltissima pendenza le varie rettificazioni, e abbreviazioni di corso operate nel territorio Lucchese fin presso Ripafratta. Queste han già portato un copioso afflusso di ghiaje nel territorio Pisano, e valgono a spingere alcuni ciottoli fino al mare.

Piena del 16 Novem.		1802	6^{m},435
—	20 Ottobre	1819	6,961
—	27 Ottobre	1811	6,814
—	29 Ottobre	1811	7,076
—	25 Ottobre	1820	7,456
—	16 Gennajo	1843	8,900

Concludo adunque che sulle piene mentre non influiscono alcune alterazioni fatte in un'alveo che ha negli ultimi tronchi pochissima pendenza o acclività, possono bene influire quelle che si fanno nel fiume che conservando presso la foce notabile pendenza può dirsi di alveo non stabilito.

E qui dovrei aggiungere l'effetto che sulle piene possono portare i diversivi, e le confluenze, ma sapendosi da principj generali (132, 133) come si possa dedurre o argomentare la variazione nell'altezza viva dell'acqua del fiume dopo avervi eseguito un diversivo, o avervi fatto confluire altro corso di acqua, mi limiterò a rammentare alcuni resultati di osservazioni, e la deduzione già fatta (128) tra la portata e l'altezza viva dell'acqua. Per queste nelle piene ove si suppone che il moto sia assai rapido, i diversivi che scemano le portate nello stesso rapporto scemano le radici quadrate dei cubi delle altezze. L'inversa proposizione ha luogo per le confluenze. Vi è però da aggiungere l'alterazione che portano nell'alveo le acque torbide delle piene: nei diversivi scemando la velocità segue subito un notabile interro, che scema l'inclinazione dell'alveo. E per lo scemarsi maggiormente la velocità come per

il fatto sollevamento nell'alveo, non si ha quel ribasso che si attendeva nella piena, e che era dato dal sopra espresso teorema. Inversamente accadendo nelle confluenze quando possa aversi l'escavazione dell'alveo, non si ha da temere l'indicata sollevazione nel pelo dell'acqua. Mai dunque (ripeterò ancora qui) sarà da proporsi un diversivo che abbia una portata comparabile a quella del fiume, mentre molti diversivi piccoli in confronto alla portata del fiume, e posti a notabili distanze fra di loro, potranno usarsi senza temere notabili alterazioni dell'alveo.

Tra le tante elevazioni e depressioni che segue il pelo di acqua ve ne sarà una massima, e questa in generale accaderà ove scema più bruscamente l'inclinazione dell'alveo. Ivi è da temersi che il fiume rompa, o che trabocchi dagli argini: ivi non si porrebbe mai un confluente, ed ivi meglio che altrove potrà stabilirsi un diversivo.

Usarono nei tempi passati di fare all'Arno un gran diversivo alle Fornacette mandando buona parte delle sue acque in tempo di gran piena per Arnaccio, ed il Targioni riferisce che fino d'allora era questione se fosse la diversione di vantaggio o no alla campagna di Pisa, e fissa che quando le inondazioni minaccianti Pisa vengono per enorme volume di acqua procedente dalla Toscana superiore, a mare basso, il suo trabocco per Arnaccio non può riuscire che dannoso, o per lo meno inutile, e solamente può fare un diversivo vantaggioso quando il mare sia altissimo per libecciate, o scirocate grandi e straordinarie. Il Frisi dice che nel Novembre 1761, in tempo della gran piena essendosi eseguito l'antico taglio, la piena continuò a crescere a segno tale che alcuni non si sapevano persuadere che il taglio si fosse fatto. Nota il Guglielmini che anche il Lamone divertito dal Po di Primaro ha cagionato un'ingrossamento nelle sue piene. E ancora Plinio ci fa sapere che essendosi tentato di far divergere le acque dal Tevere per un gran fosso fatto scavare a bella posta dall'Imperator Trajano, il fiume sebbene impoverito di acque inondava tuttora le campagne, e per rigurgito faceva retrocedere le acque degli altri influenti.

138. *Delle nuove inalveazioni.* - La causa per cui si fa una nuova inalveazione può essere varia, ma sempre possono tali operazioni ridursi a cambiare una porzione del letto senza mutarne la foce, e prendono nome di *tagli* o *rettificazioni*, o a mutarne anche la foce nel qual caso si dicono *diversioni*. Ampiamente ne parla il Guglielmini, ed io adottando le conclusioni che si sogliono generalmente fissare dagli scrittori in queste materie, tra i quali è anche il celebre Galileo quando parlava del fiume Bisenzio, dirò che le rettificazioni sono nocive nei tronchi montani, e per lo meno sono inconcludenti per gli ultimi tronchi, ciò resulta da' nostri principj sopra stabiliti (127, 133) che se nei tronchi intermedj possono tornare utili, ciò accade quando in quelli si ha piccolissima pendenza, o quando torna di vantaggio escavare il tratto superiore del fiume e non displace interrarne l'inferiore. Potrà ciò riscontrarsi nei fiumi che soffrono notabil protrazione nella foce, ed hanno minima l'inclinazione dell'ultimo tronco, come sarebbe l'Arno: sebbene anche in questi eseguita la rettificazione la

protrazione della foce si farà con maggior prestezza. Le diversioni possono presentare i caratteri delle rettificazioni circa all'abbreviare il corso, ed avranno di più una mutazione nella direzione della corrente al mare. Se le acque del mare fossero in quiete, si potrebbe fissare che la massima stabilità della foce si ha dirigendo la corrente ad angolo retto colla spiaggia. Ma sempre i mari hanno una determinata corrente, e la ha ancora il nostro mar Tirreno (138). Sembra da ammettersi una corrente marina che entrata dallo stretto di Gibilterra per la parte dell'Affrica, rada tutte le coste di Barberìa: questa forse dopo aver costeggiato l'Asia minore e la Grecia si ritrova percorrere da Corfù la costa della Dalmazia e dell'Istria continuando lungo i lidi Veneti, Ecclesiastici, e Napolitani: essa rimonta lungo l'altra costa d'Italia radendo dalla parte opposta il Napoletano, lo stato della Chiesa, la Toscana, la Liguria, la Francia ec. fino allo stesso stretto di Gibilterra di dove rientra nell'Oceano. Secondo l'opinione del Fossombroni proviene questa corrente dalla altezza delle maree nell'Oceano, che supera quelle del Mediterraneo, e la medesima è in gran parte cagione degli interrimenti dei porti, e dello straporto delle arene nei seni della spiaggia. Ha osservato il Montanari che tutti i fiumi che sboccano nell'Adriatico, hanno la foce ripiegata verso la loro sinistra, cioè contro la corrente che domina il lido di quel golfo. Può credersi che la corrente marina trasporti nella sua direzione le torbe del fiume, e riserrando con cumuli di arena alle acque dolci quella direzione, sia il fiume costretto a muoversi contro la corrente marina. La stessa direzione hanno tra i nostri fiumi la foce dell'Ombrone e della Cecina, e la aveva l'antica foce (137) di Arno, e già comincia a dimostrarsi anche nella nuova foce. Il Serchio ha direzione opposta, e credo che questo vogliasi attribuire alla molta velocità delle sue acque, e alla vicinanza della foce d'Arno.

Contuttociò è comune l'opinione che l'arte abbia a tendere sempre ad addirizzare il corso de' fiumi conducendoli al mare per la via più breve, e quella dovrà pure da qualche ragionevolezza e da qualche motivo dipartirsi? Senza dubbio la velocità in tal via si renderebbe massima, e più sollecito sarebbe lo smaltimento delle acque; queste sono deduzioni che si fanno con massima facilità, e non del pari alla portata di tutti è il calcolo dei danni che spesso provengono dalle rettificazioni per disalveamenti.

La determinazione dell'alveo nuovo, e l'alterazione che si fa nei tronchi superiori ed inferiori dell'alveo vecchio, sono le ricerche che occorrono nelle nuove inalveazioni. Non si può a queste sodisfare in un modo teorico perchè non si conosce la relazione negli alvei di fondo alterabile tra la velocità e la pendenza, ne può fissarsi in un modo preciso di quanto varj la velocità al variare della cadente del fiume. Pure ritenendo per la portata del fiume corretto quella che si aveva nel fiume inalterato, e che il moto debba essere uniforme, si può con le equazioni fissate (128) conoscere la pendenza relativa a tali supposti. Questa potrà valere per una prima scorta: quindi si osserverà che la pendenza relativa unitaria deve crescere in proporzione che è scemata la lunghezza del corso, non solo nel tronco della nuova inalveazione ma an-

che nei superiori e negli inferiori, ammettendo ovunque uniforme resistenza all' escavazione: si procederà in seguito alla considerazione di quelle particolarità che possono fare eccezione a queste regole generali; e si ragionerà sulle conseguenze che ne sono venute in consimili alterazioni di alvei: con la scorta di tutti questi elementi potrà non solo dedursi approssimativamente la pendenza del nuovo alveo, ma anche l'alterazione dei tronchi che rimangono del vecchio. Egualmente per le diversioni nel fissare il fondo dello sbocco si seguirà la norma di sbocchi consimili, e della vecchia foce. Si vedono (come ho detto) le foci dei fiumi naturali a pochi piedi di profondità sotto il pelo basso del recipiente, e ben di rado giungono al fondo di questo; e si sa che quando lo sbocco si eseguisca in mare per tutto quel tratto in cui si fa risentire la chiamata dello sbocco deve il fondo rimanere orizzontale: queste possono pure esser norme per dirigere la nuova diversione.

Che se queste alterazioni voglionsi impedire o ritardare per non andare incontro ai pericoli che potessero provenire da un troppo pronto sbassamento d'alveo, si reggerà il fondo con una chiusa stabile, o da potersi a grado a grado abbassare. Questa suole essere anzi la regola suggerita dalla prudenza, quando non si possa con assai certezza apprezzare il nuovo stato che prenderà l'alveo, o non convenga in quello artificialmente collocarlo. Quindi suolesi nella nuova inalveazione scarseggiare tanto in larghezza che in profondità onde rimanga alcunche da escavarsi col mezzo della corrente che passa per le prime volte nel nuovo alveo. Ciò che rimane ad escavarsi dalla corrente non deve esser poi troppo da impedire il corso nel fiume, ne da portar guasti nell'atto dell'escavazione in altre parti dell'alveo.

139. *Della pressione prodotta dall'acque dei fiumi, e della battuta* — Gli argini del fiume devono resistere alla pressione dell'acqua ed all'urto della corrente. Ben si comprende che la pressione alla superficie delle acque correnti, quando il moto è ridotto a stato di permanenza deve essere dappertutto eguale alla atmosferica, e questa pressione è trascurabile sovra gli argini giacchè in ogni direzione essi risentono la stessa pressione. Entro la massa fluida, e perciò sopra un punto determinato dell'argine la pressione è eguale al peso della colonna di acqua che gli corrisponderà verticalmente sino al livello di quel punto del pelo d'acqua che sovrasta il punto premuto in direzione perpendicolare all'andamento del pelo d'acqua; o quando questo sia parallelo al fondo in direzione perpendicolare al fondo dell'alveo. Questo teorema parmi possa assai bene comprendersi col supporre divisa la massa fluida corrente in tanti strati tutti paralleli al pelo d'acqua, e col riguardare questi strati come tanti piani inclinati. La pressione che fa sovra un tal piano una colonna fluida presa in direzione verticale è data dalla componente (*Mec.* 107) del peso di essa presa normalmente al piano che torna a quello che si è nel teorema asserito. Ne consegue da ciò che la pressione rimane costante in tutti i punti della massa fluida situati alla medesima profondità sotto il pelo della corrente: e che quando il pelo d'acqua come il più delle volte accade, può aversi per orizzontale la pressione

delle acque correnti in canali aperti corrisponde alla pressione idrostatica, nè si fa in pratica errore supponendola eguale come già abbiam fatto (12) altrove.

A farsi idea dell'urto della corrente o battuta, che essa fa contro gli argini, deve riflettersi l'irregolarità che presenta il pelo d'acqua. Si vedrà questo più alto nei luoghi investiti dalla corrente, e questa maggiore altezza se il pelo non ha brusche elevazioni, dà la misura dell'urto della corrente. Infatti gli strati liquidi a contatto colla sponda del fiume non risentono l'urto degli altri e lo comunicano alla sponda, inoltre essi non hanno movimento sensibile e per legge idrostatica devono equilibrare con le colonne liquide sopraposte le pressioni che li vengono comunicate. Noi mostreremo in seguito che può la forza urtante esprimersi per $2.1000^k,B\, a\, sen^2\, \psi$ ove B rappresenta la projezione della superficie esposta all'urto a l'altezza dovuta alla velocità, e ψ l'angolo d'incidenza dell'urto. E questa formula ci darà altro criterio sebbene in eccesso per valutare la battuta della corrente. Essa sarà specialmente applicabile nel caso che il pelo d'acqua presenti delle ondulazioni, e in generale delle brusche elevazioni. In questo caso volendo argomentare la battuta dal pelo d'acqua in un modo sperimentale e senza fare uso di formule algebriche, deve prendersi l'elevazione di esso, e coerentemente ai principj dei getti (85) non solo la massima elevazione a cui vanno le onde, ma anche quella a cui si elevano gli spruzzi d'acqua. La maggiore battuta, e per conseguenza il maggiore indizio dato dai rammentati fenomeni si noterà nella direzione in cui il filone investe la sponda, o l'ostacolo fisso; e andrà perdendo di forza a proporzione che scema la velocità.

140. *Della scala delle velocità.* — Abbiamo anche in altri luoghi (140) avvertito che la velocità nelle acque correnti e perciò ne fiumi scema a misura che ci si avvicina al fondo, e alle sponde, e che i calcoli si hanno da regolare sulla velocità media. La legge colla quale varia la velocità è detta scala delle velocità, la quale potrebbe rappresentarsi con una curva che abbia per ascisse le distanze dal fondo del fiume, e per ordinate le intensità delle velocità. Secondo il Castelli la scala della velocità è rappresentata da una linea retta, e secondo il Guglielmini da una parabola di secondo grado. Non sembra che a queste figure possiam noi affidarci. Michelotti e Ximenes sull'Arno, e Brünings sul Reno eseguirono una ben ragionata serie d'esperienze, le quali confermano che la velocità delle acque correnti diminuisce gradatamente a partire da un punto poco profondo sotto la superficie, e che una tal diminuzione debole da prima, diviene sempre più forte, a misura che ci si avvicina al fondo. Per dare idea di tal decrescimento riporto le ordinate e le ascisse della curva ottenuta per medio resultato di due esperienze fatte da Defontaine sul Reno ove aveva la profondità di $1,^m50$, che la ravvicinerebbero molto ad un arco di parabola

Profon.	$0^m,0$	0,2		*Veloc.*	1,25	1,22
,,	0,4	0,6	0,8	,,	1,20	1,17	1,13
,,	1,0	1,2	1,4	,,	1,06	0,95	0,88

Noi descriveremo gli strumenti i più adattati per questo genere di ricerche, ma nessuno di quelli può risolvere la questione della scala delle velocità. Per buona ventura l'applicazione delle formule non richiedono tal cognizione, e piuttosto esi-

gono che si abbia la velocità alla superficie e quella al fondo, ed ambedue queste possono aversi con più facilità che le altre. E già sappiamo (113) come dalla velocità superficiale per l'esperienze di Dubuat siasi da Prony stabilita una formula che assegna la velocità media. Può da queste esperienze anche dedursi che il rapporto tra la velocità della superficie e quella del fondo è tanto maggiore, quanto é minore la velocità, e che un tal rapporto si trova totalmente indipendente dall' altezza dell'acqua. Il filetto liquido dotato della velocità media, è stato ritrovato un poco al di sotto della metà verso i $^3/_5$ della profondità.

Chiamata V la velocità alla superficie, e v la velocità media dalle rammentate esperienze di Michelotti e Brunings eseguite sù grandi fiumi, si deJurrebbe un rapporto tra la velocità media e la velocità alla superficie superiore a quello stabilito (113) per l'esperienze di Dubuat che furono fatte sù piccoli corsi d'acqua

Fiumi	*Profondità*	*Valore di* V	*Valore di* $\frac{v}{V}$
Arno	$4^m,57$	$1^m,004$	0,919
Waal	1,57	0,670	0,934
idem	3,45	1,025	0,915
idem	4,39	1,226	0,923
Basso Reno. .	1,88	0,874	0,892
idem	2,82	1,307	0,963
idem	3,45	1,379	0,957
idem	4,08	1,484	0,934
Alto-Reno. . .	2,51	1,097	0,965
idem	3,76	1,307	0,956
idem	4,39	1,467	0,908

Strumenti Idrometrici

141. *Classazione degli Istrumenti idrometrici.* — Alcuni si muovono liberamente nell acqua come i galleggianti, e questi sono senza dubbio i preferibili, ma danno la velocità media per un certo tratto della corrente. Altri come i mulinelli, e i pendoli soffrono l'urto della corrente, ed hanno le incertezze delle dottrine dell' urto che in seguito esporremo. Questi darebbero la velocità in una determinata sezione, ma richiedono o un ponte sovra il corso dell'acqua, o la presenza di una barca, o qualche congegno per tenerli fissi, e per conseguenza può dirsi che agiscono sovra una sezione più o meno ridotta. Pure studiando bene il modo di collocarli potrà rendersi trascurabile l'effetto del ristringimento della della sezione. E credo conveniente distinguerli in altre due classi, separando quelli che acquistano moto dalla corrente, da quelli che si oppongono ad essa in posizione di equilibrio.

142 *Galleggiante semplice.* — Il mezzo più diretto, ed anche il più sicuro per conoscere la velocità è un galleggiante che posto alla superficie ne prenda comune il moto. Può essere un pezzo di legno, o una boccia contrappesata con del piombo nell'interno per modo che si immerga quasi totalmente, e meglio sarà un globo di cera: si colloca sul filone della corrente, e assai al di sopra del punto da dove cominciasi a contare il tempo: in questo punto stà un'uomo che con un colpo di pistola avvisa il passaggio del galleggiante all'altra persona incaricata di principiare nell'atto di quel colpo a contare il tempo; questa è al luogo estremo della corsa che ha destinata per l'esperimento, e quando ivi giunge, il galleggiante termina di contare il tempo. In tal modo si sà in quanto tempo il galleggiante, che

aveva acquistata la celerità della corrente, avrà percorso una nota distanza. Fa duopo avvertire che quando il pelo d'acqua è sensibilmente inclinato all'orizzonte, acquista il galleggiante una velocità maggiore del liquido per la teoria del piano inclinato; e siccome l'eccesso della velocità è indipendente dalla velocità dell'acqua, riescirà tanto più vistoso e nocivo quanto meno celere è la corrente; sarà poi trascurabile quando il pelo d'acqua possa aversi per orizzontale.

143. *Galleggiante composto.* — Si compone questo galleggiante di due palle B, B′ congiunte mediante un filo. La prima B deve essere specificamente più leggera dell'acqua, e la seconda B′ più pesante per modo che messo in acqua lo strumento la palla di sopra rimanga sepolta quasi a fior d'acqua. Si comporrà agevolmente di due boccie, ponendo nella seconda tanto piombo che porti ad immergere quasi totalmente anche la prima. Fatto l'esperimento come nel galleggiante semplice, ed avendosi per quello la velocità superficiale dedurremo dal galleggiante composto la velocità nel luogo ove ritrovasi la seconda palla B′. Onde cangiata la lunghezza del filo si troverà la velocità alle diverse distanze dal fondo. Se le due palle sono eguali la velocità v dei galleggianti è media aritmetica fra la velocità V dell'acqua alla superficie e V′ allo strato che è percorso da B′. In ogni caso si ha la velocità dello strumento espresso da

$$\frac{BV + B'V'}{B + B'}$$

essendo B, B′ i due circoli massimi delle palle, o le projezioni de' due corpi che compongono lo strumento sovra un piano normale alla direzione della corrente. Il difetto di questo galleggiante è nel non poter sapere per la curva in cui si dispone il filo di quanto rimanga il globo B′ più basso del globo B. Pure quando si abbia cura di mettere la maggior differenza possibile tra le gravità specifiche dei due globi, non si potrà sbagliar molto prendendo la lunghezza stessa del filo per la profondità d'immersione del globo B′.

144. *Asta ritrometrica del Bonati.* — Un bastone (Tav. V. fig. 2.) A B di pioppo o di altro legname che abbia poca gravità specifica si invernicia d'olio perchè non s'imbeva d'acqua, e vi si congiunge all'estremità inferiore un cilindro cavo di foglia metallica con entro del piombo. Questo piombo ha da regolare il peso dell'asta onde sporga dal fiume coll'altra estremità, e si tenga in posizione quasi verticale. Ognun comprende che nei differenti strati che lo strumento attraversa si comunicherà celerità differente allo strumento, e maggiore in quelli più alti; onde l'asta si porrebbe in situazione orizzontale se il suo peso eccentrico non tendesse a riportarla in posizione verticale, e per ambedue le forze dovrà moversi adunque con direzione inclinata tenendo avanzata la parte superiore. Inoltre, se piccola è la parte che emerge dall'acqua, e costante si è resa la inclinazione, ed uniforme si è fatto il suo moto, potrà ritenersi che la velocità dell'asta è quella media che ha la corrente per tutto il tratto da essa attraversato. Quando la scala di velocità fosse una linea retta, la velocità dell'asta sarà quella dello strato di mezzo al tratto attraversato dallo strumento.

145. *Volante a pale.* — Tutti i precedenti istrumenti sono mobili con la corrente, e danno la velocità di un

tratto del fiume, non di una sola sezione. Si potrà dal volante a pale avere la velocità di un determinato punto rimanendo sempre una certa mobilità nello strumento. Dubuat si è servito di una ruota di pino, di 0,^{m}73 in diametro, munita di 8 pale quadrate con lato di 0,^{m}08: l'albero mobilissimo girava sù due piccoli assi di ferro sostenuti da cuscini di rame: in tutto non si aveva che il peso di 0^{k},69.

146. *Reometro, o mulinello di Woltmann.* — Questa macchinetta (Tav. V. fig. 5) presenta un'albero che collocato nella direzione della corrente viene messo in moto rotatorio dall'urto che la corrente fa sù quattro piccole pale, e talvolta anche due sole B, B, sostenute da raggi attorno all'estremità dell'albero ed inclinate per 45° al corso dell'acqua, ed al piano dei raggi. Dal numero de' giri che fa l'albero in un certo tempo si deduce la velocità della corrente. Poichè non tenendo conto delle piccolissime resistenze, deve esser quella velocità proporzionale alla velocità delle pale, e perciò al rapporto tra il numero N de giri che esse fanno e il tempo T che ha durato l'esperimento ed avremo

$$v = \alpha\, 2\pi r \frac{N}{T}$$

r è la distanza tra l'asse e il centro delle pale. Onde posto il coefficiente α come eguale all'unità, si viene a prendere la velocità del centro delle pale per quella della corrente, lo che porterebbe a trascurare ogni resistenza che incontra nel moto la macchina. Si può determinare questo coefficiente con un'esperienza proventiva, la quale si può fare non solo in una corrente di conosciuta velocità, ma anche facendo muovere con determinata velocità lo strumento entro l'acqua stagnante. Questo secondo metodo avrà il vantaggio di potere agire con moto circolare in un bacino non molto grande, ed anche di variare la velocità finchè lo strumento non ha dato nel medesimo tempo lo stesso numero di giri nell'albero, che si era ottenuto nello sperimentare per la misura della velocità. Questa osservazione può farsi anche per molti strumenti idrometrici fissi, che in seguito descrive.

Posto poi che non possa eseguirsi l'esperienza sopra accennata si farà

$$\alpha = 1,1235$$

Perchè il Reometro segni da per se il numero dei giri vi sono due ruote imperniate sovra una traversa o cassa D. Questa girando attorno alla sua estremità quando è tirata in alto dalla cordicella attaccata all'altra estremità D, porta i denti di una ruota ad imboccare con le spire della vite perpetua C annessa all'albero. Quindi allorchè l'albero gira, pone in moto la ruota, e questa col suo rocchetto fa muovere la seconda ruota. L'asse della prima ruota porta una lancetta che marca le rivoluzioni dell'albero, e l'asse della seconda porta pure una lancetta che marca le rivoluzioni della prima ruota. Quando si rilascia la cordicella che è in D, una molla fa abbassare la traversa, esce la ruota d'imboccatura dalla vite perpetua a, le ruote vanno a riposare gli incavi de' loro denti in due puntaroli che stanno alla parte inferiore del castello della macchina, onde immantinente cessa il moto delle lancette. Ciascuna delle ruote ha 50. denti, ed il rocchetto ne ha cinque, per cui possono contare fino a 500 giri. La dimensione della macchina suole essere sei volte quella della figura. Vi si usa un sistema di ali piccole per le grandi velocità.

che sono quadrate, ed hanno 0^m025 per lato, ed il loro centro è distante dall'asse dell'albero di $0,^m05$. E per le velocità piccole un'altro sistema di quattro ali quadrate che hanno dimensioni doppie, e sono distanti pure del doppio dall'albero. Prima di mettere le ruote in imboccatura con la vite perpetua si lascia che l'albero abbia acquistato moto uniforme; e quando è scorso il tempo, che ci siam prefissi di far seguitare il moto delle lancette, si rilascia la cordicella.

147. *Tubo di Pitot.* — Questo tubo (Tav. V. fig. 3) è il più semplice tra gli strumenti fissi: si affonda nel liquido fino allo strato ove vuolsi la velocità, e si rivolge la sua apertura inferiore nella direzione opposta alla corrente. Allora entra nel tubo il liquido e si eleva nella sua branca verticale fino ad un certo punto sopra il pelo dell'acqua, si ha cura di notare questo punto perchè dal medesimo deducesi la velocità. Molto influisce sù questa elevazione la forma del tubo. Michelotti e Dubuat dando all'orifizio la forma di un'imbuto, che abbia chiusa l'apertura con una placca munita di piccol foro nel centro, ha trovato che chiamando a l'altezza a cui si eleva il liquido nel tubo sopra il pelo della corrente si ha

$$v = \sqrt{2g\,{}^2/_5\,a} = 3,62\,\sqrt{a}.$$

Mallet terminava la branca orizzontale del tubo in un cono che avesse due soli millimetri di apertura alla sommità: dava $0,^m04$ di diametro al tubo: vi poneva entro un galleggiante sormontato da un'asta capace di indicare la posizione del livello: voltava prima l'apertura contro la corrente in A, quindi nel senso della corrente in A' e notava la differenza delle due altezze, che prendeva l'asta galleggiante. Questa differenza moltiplicata per un coefficiente, che può determinarsi con una preventiva esperienza, dà l'altezza dovuta alla velocità. Secondo il Venturoli questo coefficiente sarebbe l'unità quando si fosse lasciato il tubo aperto per tutto il suo diametro

148. *Pendolo semplice.* — Si usa un pendolo semplice formato (Tav. V. fig. 1.) da un globo d'avorio, o di altra materia non molto più pesante dell'acqua, che stà entro l'acqua ed è attaccato ad un punto fisso col mezzo di un filo. Il filo per l'urto della corrente sul globo, declina dalla verticale con un cert'angolo DAC. Dalla misura di questo deducesi la celerità: in fatti essendo il pendolo sollecitato dal peso suo CA, e dall'urto AB della corrente, si metterà nella direzione AD della resultante di queste due forze. Onde chiamato φ quell'angolo, e ritenuta orizzontale la direzione della corrente, starà il peso P del globo all'urto della corrente, che siccome vedremo è proporzionale al quadrato della velocità, :: 1 : *tang* φ cioè

$$v = n\sqrt{tang\,\varphi}$$

Si determinerà il coefficiente n con una esperienza preliminare sul nostro globo in un corso d'acqua di nota velocità. Il difetto grande che ha un tale strumento è che il filo si dispone in una curva e non in linea retta, particolarmente nel tratto che stà sott'acqua.

Converrà meglio come suggerisce Venturoli, abbandonare la misura dell'angolo φ, e cercare il peso capace di fare equilibrio al globo esposto alla corrente. Otterremo ciò col far passare il filo sopra una mobilissima carrucola, ed appendendo all'altro capo il contrappeso conveniente. Chiamato P' questo contrappeso per la dottrina del rettangolo delle

forze avremo che $P'^2 - P^2$ è eguale all' urto, e perciò proporzionale al quadrato della velocità cioè si ha

$$v = a \sqrt{P'^2 - P^2}$$

e qui pure potrà una preventiva esperienza determinare il coefficente a.

Quando non si abbia modo di potere sperimentalmente determinare i coefficienti n, a si siterrà

$$n = 6,26 \sqrt{\frac{P}{B}} \qquad a = \frac{59,2}{B}$$

essendo P il peso del globo che forma il pendolo, e B il suo circolo massimo espressi in k. e in m^q.

148. *Pendolo composto.* — Sia l'asta cilindrica A B (Tav. V. fig. 2.) sospesa al punto A (servendosi di questa figura a tal uso supponiamo che la corrente abbia direzione opposta alla freccia che vi è) ed immersa nella corrente per un certo tratto il quale porti delle divisioni equidistanti. Si collochi il centro di sospensione sempre sopra una verticale A C, ma si vada alzando in successive esperienze per modo che immerga prima una, poi due, tre, ec. divisioni. Si noti ad ogni esperienza il corrispondente angolo B A C, che fa il pendolo colla verticale nella situazione di equilibrio. Si chiamino $\varphi, \varphi', \varphi''$ ... questi angoli: siano $a\ a'\ a''$ ... le altezze dovute alle velocità che si hanno negli strati investiti dalle diverse divisioni del nostro pendolo: rappresenti l la lunghezza del tubo che forma il pendolo, r il raggio, e q il suo peso specifico: sia b la distanza del suo centro di gravità da A: siano m, m', m'' ... le porzioni del tubo che restano fuori di acqua: sia $2n$ l'ampiezza di ciascuna divisione che rimane sott'acqua. Assumendo per α il coefficente che determina il rapporto tra la resistenza che il fluido oppone ad un cilindro, e quella che oppone alla sua sezione longitudinale, il qual rapporto suol fissarsi $^{11}/_{20}$; e per semplicizzare la formule ponendo

$$0,85\ \alpha \pi r (2l\,b\,q - l^2 + m^2) \frac{sen\ \varphi}{cos\ \varphi^2} = M$$

e perciò dando anche ad M', M''... gli analoghi valori quando in luogo di m si pone m', m'' .. e in luogo di φ si pone φ', φ'' ... Mettendo pure

$$2n\ cos\ \varphi = A \qquad n\ cos\ \varphi = B$$
$$4n\ cos\ \varphi' - 2n\ cos\ \varphi = A'$$
$$2n\ cos\ \varphi' + n\ cos\ \varphi = B'$$
$$6n\ cos\ \varphi'' - 4n\ cos\ \varphi' = A''$$
$$5n\ cos\ \varphi'' + 2n\ cos\ \varphi' = B''\ ec.$$

avremo le equazioni

$$M = \frac{A}{cos\ \varphi}\left(m + \frac{B}{cos\ \varphi}\right) a$$

$$M' = \frac{A}{cos\ \varphi'}\left(m' + \frac{B}{cos\ \varphi'}\right) a + \frac{A'}{cos\ \varphi'}\left(m' + \frac{B}{cos\ \varphi'}\right) a'$$

$$M'' = \frac{A}{cos\ \varphi''}\left(m'' + \frac{B}{cos\ \varphi''}\right) a + \frac{A'}{cos\ \varphi''}\left(m'' + \frac{B'}{cos\ \varphi''}\right) a' + \frac{A''}{cos\ \varphi''}\left(m'' + \frac{B''}{cos\ \varphi''}\right) a''\ ec.$$

le quali saranno tante quante le incognite a, a', a'' ... e perciò ci permetteranno la determinazione delle velocità

$$\sqrt{2ga} \quad \sqrt{2ga'} \quad \sqrt{2ga''}\ ec.$$

dei diversi strati della corrente o la scala della velocità. Non deve l'inclinazione del tubo superare 50.°; e per evitare il caso che nelle posizioni più basse potesse ciò accadere si porrà entro al tubo avanti di cominciare le esperienze quella quantità di migliarole di piombo che possono abbisognare.

149. *Ventola di Ximenes.* — Un albero verticale (Tav. V. fig. 15) mobile su perni che sono alle sue estremità collocato in mezzo alla corrente porta distante dal suo fianco una lastra rettangolare sostenuta da due bracciali, la quale è chiamata ven-

tola. Si tiene questa equilibrata normalmente alla direzione della corrente col mezzo di un contrappeso pendente da una fune che è cinta ad una ruota concentrica all'albero. Si fa scorrere la ventola e i suoi braccioli in alto è in basso ove vuolsi esplorare la velocità. Riducendo la forza che occorre a tener ferma la ventola al peso di un cilindro di acqua che abbia per base quella della ventola, si dedurrà quale ne ha da esser l'altezza, che è quella dovuta alla velocità.

150. *Tachometro di Brunings.* — Consimile alla rammentata ventola è una specie di romana P D (Tav. V. fig. 4) che sta imperniata alla sommità di un'asta infissa verticalmente nel letto del fiume, ed all'estremità D ove suol porsi la merce da pesarsi stà attaccata una cordicella che passa per la carrucola C, e va ad attaccarsi alla coda B. Una lastra A è in situazione normale alla corrente e viene portata da una verga A B, che passa col minimo attrito in un foro di guida *m*. Quando la corrente è forte fa duopo portare più oltre il romano P per tenere in equilibrio contro di essa la lastra, e dalla posizione di quello si deduce la forza della corrente, e come si è detto qui sopra l'altezza dovuta alla velocità.

151. *Osservazione generale.* — Per le cose già dette, e per ciò che dovremo in seguito mostrare sull'urto, e sulla resistenza dell'acqua, noi stabiliamo che non si può ottenere dagli indicati strumenti idrometrici, nè rilevare una sicura misura della velocità se l'ingegnere idraulico non ha cura di fare sul proprio istrumento l'esperienza preventiva (146) che occorre a determinare il coefficiente, il quale accompagna le formule sopra stabilite.

CAPITOLO VII.

Della Pressione idraulica, o dell'urto di una vena fluida e della resistenza ne' liquidi.

152. *Analogia tra l'urto, e la pressione de' fluidi.* — Nell'urto de' solidi (*Mecc.* 212) in brevissimo tempo si comunica dal corpo urtante all'urtato una quantità di moto, e dopo cessa ogni azione fra l'uno e l'altro corpo. Una vena fluida, o una corrente di acqua essendo composta di un'infinità di particelle che si succedono l'una dopo l'altra senza interruzione, comunica all'urtante continuamente quantità di moto, e senza interruzione nello stesso modo che agiscono sovra i corpi le forze costanti (*Introd.* 105). L'esperienza conferma tuttociò, poichè all'estremità di una leva ricevendosi l'urto di una vena fluida, li si potrà fare equilibrio con un contrappeso posto all'altra estremità. Può dunque tale effetto anzichè di urto chiamarsi di pressione idraulica, giacchè è consimile a quello della pressione idrostatica.

Non deve contuttociò confondersi l'azione permanente dell'urto dei fluidi, con l'azione che essi fanno ne' primi istanti. Quest'ultima mantiene molto il carattere dell'urto fra i solidi, ed il confronto di queste due azioni merita quelle considerazioni che noi abbiam fatte (*Mecc.* 223) fra la pressione e l'urto. Anche del primo colpo nell'urto di una vena fluida si è cercato di determinare il

valore, e con i metodi, sebbene impropri, con i quali si determina nell'azione permanente, ed è stato trovato anche più che il doppio di questa azione permanente. Gli ingegneri, ed i meccanici adunque non trascureranno questa differenza, giacchè quando vi è intermittenza d'azione può produrre grandi danni, come grandi vantaggi.

Divideremo il soggetto della pressione idraulica, in urto di una vena isolata che agisce contro una superficie; in urto che è sofferto da un corpo che è immerso in un fluido indefinito, al quale si dà più propriamente il nome di resistenza che oppongono i liquidi ai solidi in moto; e in urto fatto da una corrente in un solido che è dentro un condotto di cui esso occupa quasi in totalità la sezione.

Urto di una vena fluida isolata.

153. *Misura dell'urto diretto.* — Da una luce S scaturisca una vena fluida colla velocità v, e vada a battere normalmente contro un piano animato nello stesso senso con la velocità v'. È chiaro che la perdita di velocità sofferta dalla massa M fluida sarà $v - v'$, cioè si agirà contro il piano con un totale di forza $M(v - v')$ nel tempo t che impiega ad escire dall'orifizio S la massa M di liquido. E siccome (62) è

$$M = \frac{1000^k . m S v t}{g}$$

avremo che quella forza deve eguagliare la pressione idraulica R moltiplicata per quel medesimo tempo. Perciò avremo

$$R = \frac{1000^k}{g} m S v (v - v')$$

I.° La velocità v' che ha il piano urtato scema l'urto, e viceversa la pressione idraulica è tanto maggiore quanto con meno velocità si muove davanti alla vena fluida la superficie urtata.

II.° La pressione idraulica è massima quando resta immobile la superficie urtata. Allora la sua espressione sarebbe

$$1000^k m S . \frac{v^2}{g}$$

proporzionale al quadrato della velocità, proporzionale all'altezza dovuta alla velocità, ed eguale al peso di un prisma di acqua che ha per base la sezione della vena fluida, e per altezza il doppio di quella dovuta alla velocità.

III.° Se avvertiamo che in ogni istante si ha che la massa è eguale alla portata Q divisa per la gravità g, e la portata corrisponde all'estensione B del piano urtato moltiplicato per il piccolo spazio ev che questo percorrerebbe se dovesse dar luogo all'alloggiamento di tutte le particelle liquide, moltiplicato per 1000^k cioè

$$M = \frac{Qt}{g} = \frac{1000^k}{g} B e v t$$

Verremo ad avere per il valore della pressione idraulica quello sopra riferito colla mutazione di m S in e B; la quale potremo sempre intender fatta nelle formule che seguono.

IV.° Supponesi nella esposta teoria, che l'estensione B della lastra urtata sia nella giusta proporzione onde i filamenti della vena fluida che la incontrano perdano contro di essa tutta la propria velocità, e si riducano a muoversi parallelamente alla lastra stessa. Ciò non si ottiene come vedremo che quando la lastra B è notabilmente più ampia della sezione S del foro d'efflusso, ed il rapporto che esiste fra queste due quantità nell'indicata estimazione totale di velocità, sarà da noi in seguito determinato.

V.° Essendo la lastra B più piccola di quel che richiede il notato rapporto, i filetti fluidi sfuggiranno da quella, non in direzione normale alla vena fluida, ma facendo con essa un angolo acuto. Per comprendere ciò, si consideri la vena fluida e la superficie urtata, simmetriche attorno ad un medesimo asse: sia la vena composta di un fascio di filamenti fluidi, i quali nel giungere in prossimità della superficie si infettano descrivendo linee convesse verso l'asse, e strisciano lungo una conoide liquida che suppongo rimanga ferma contro la superficie stessa. Poniamo dunque che tutti i filetti sfuggano dalla lastra facendo con essa un'angolo ϕ; è chiaro che si troverà la porzione scemata della pressione totale, osservando quale è nel moto de' filetti sfuggenti la componente normale alla lastra: ma questa stà al moto totale :: 1 : *sen* ϕ: dunque la pressione idraulica in questo caso esercitata sulla lastra, designato con k un coefficiente da determinarsi, con p il peso specifico del liquido, e con A l'altezza dovuta alla velocità, sarà

$$k p e B \frac{v^2}{2g} (1 - sen\ \phi)$$

VI.° Nel caso che la lastra abbia superficie concava, o essendo piana, venga contermina da un bordo saliente, i filetti della vena fluida non potranno sfuggire dalla lastra in direzione normale al moto della vena, ma dovranno ripiegarsi più o meno indietro, e fare un'angolo ottuso $90° + \phi$ colla vena fluida, e la pressione idraulica sarà

$$k p e B A (1 + sen\ \phi)$$

VII.° Quand'anche non fosse urtata una lastra piana, si intenderà in B rappresentata la projezione trasversale del corpo urtato sovra un piano perpendicolare alla direzione del moto; e sarà sempre la pressione idraulica proporzionale al peso del prisma fluido che ha per base questa projezione del corpo urtato, e per altezza quella dovuta alla celerità. Sempre qualunque siasi l'estensione e la forma della superficie urtata, si avrà per valore della pressione idraulica

$$k' p m S \frac{v^2}{2g} = k' p e B.A$$

VII.° Ben si comprende che nelle cose esposte ho ritenuto per costante la velocità, e perciò uniforme il moto del liquido, che se questo fosse vario come nel caso che si vuoti il vaso da cui sgorga il liquido, allora l'espressione indicata varierà di valore da un' istante all'altro, come varia il quadrato della velocità.

154. *Misura dell'urto obliquo.* — Faccia la lastra urtata un' angolo ψ con l'asse della vena fluida, potremo risolvere la velocità v in due, una normale, ed una parallela alla lastra, e solo la componente normale che è $v\ sen\ \psi$ si estinguerà, e produrrà la pressione idraulica. Onde ripetendo qui ciò che abbiamo detto dell'urto diretto, verremo a stabilire una corrispondente formula per la misura della pressione idraulica, cioè

$$k'' p e B \frac{v^2}{2g} sen\ \psi$$

I.° La resistenza di un piano percosso dalla corrente è proporzionale all'area del piano, al quadrato della velocità, e al seno dell'angolo d'incidenza: e qui chiamiamo angolo d'incidenza quello che fa la corrente col piano. Diciamo poi proporzionale perchè non può contarsi sul valore assoluto del coefficiente dato dalla teoria, rimettendoci su ciò a quanto vedremo esser determinato dalle esperienze.

II.° Che se io dovessi dire qualche

cosa in teoria su quel coefficiente richiamerei le osservazioni fatte di sopra nel caso dell'urto diretto sull'andamento de' filetti mentre sfuggono dalla lastra (155 V.°) alcuni de' quali si trova che fanno un'angolo ψ, ed altri passano da questo angolo fino all'angolo $-\psi$.

III.° La rammentata resistenza si esercita in direzione normale al piano percorso: che se vogliasi solo quella componente di essa che ha luogo nella direzione della vena fluida si troverà essa rappresentata dalla formula

$$k'' p e B \frac{v^2}{2g} sen^2 \psi$$

IV.° Qui pure deve ripetersi l'osservazione fatta (155 VII.°) sulla differenza fra il moto vario e quello uniforme.

V.° Posto che la vena fluida urti obliquamente contro un piano che si muove, converrà tenere a calcolo non solo la velocità v del liquido, quant'anche quella v' del piano; e l'angolo ψ che fa la direzione della vena col piano, come ancora quello ψ' che fa il piano colla direzione del suo moto. Quindi si decomporrà la velocità del fluido in due, una normale ed una parallela al piano, e quella normale sarà $v\, sen\, \psi$, ed egualmente si decomporrà la velocità del piano, che darà per componente ad esso normale $v'\, sen\, \psi'$. E fatto adesso lo stesso ragionamento che abbiamo seguito per l'urto diretto, si ha per la formula che esprime in questo caso la pressione idraulica normale al piano

$$k'' p e B \frac{v}{2g} (v\, sen\, \psi - v'\, sen\, \psi')$$

Che se poi in qualche caso si richiederà la resistenza o urto nella direzione della corrente, dovrà questa formula moltiplicarsi per $sen\, \psi$, come dovrà moltiplicarsi per $sen\, \psi'$ quando vogliasi misurato l'urto nella direzione del moto del piano. L'applicazione di questa formula occorre nel caso del Reometro di Woltman, come quelle sull'urto diretto dovranno applicarsi negli altri Reometri che non si muovono liberamente insieme colla corrente, e ciò ogni qual volta voglia stabilirsi indipendentemente da preventive esperienze, il coefficiente numerico indicato nelle relative formule.

155. *Resultati d'esperienze sull'urto di una vena fluida isolata contro una lastra.* — Per eseguire le esperienze sull'urto diretto, a capo di un braccio di una bilancia, si unisca una lastra che sia in piano orizzontale se vuolsi sperimentare sovra una vena fluida che cada per la verticale, o che sia in piano verticale se la vena fluida (Tav. V. fig. 14) viene orizzontale; Si faccia battere la vena fluida nel centro della lastra, e dall'altra parte si aggiunga quel peso che basta per tenerla ferma. Se le braccia della leva o bilancia sono eguali, il peso ci marcherà il valore della pressione idraulica, ed essendo esse differenti rimarrà ben facile dedur questo da quello colla ragion reciproca della lunghezza delle braccia. Obliquando la lastra si faranno le esperienze sull'urto obliquo, e variando i carichi della vena fluida, o le velocità, le ampiezze della lastra, e della luce d'efflusso, e gli angoli di obliquità, si determineranno sperimentalmente le leggi dell'urto. Le esperienze del Bossut, del Zuliani e di altri han provato:

I.° Gli urti della vena fluida sono come i quadrati delle velocità.

II.° La misura assoluta dell'urto diretto cambia secondo il rapporto dell'ampiezza della lastra alla sezione

della vena urtante. Se la lastra di molto sopravanza la sezione della vena la sua resistenza eguaglia il peso di un cilindro di acqua che ha per base il doppio della sezione della vena, e per altezza quella dovuta alla velocità. Converrebbe perchè concordasse questa alla formula teorica, che i filetti fluidi dopo l'urto escissero parallelamente alla lastra, lo che non accade che quando essa è tra sei e otto volte l'ampiezza della sezione fluida. Allora adunque si ha per esperienza come per teoria $k = 2$. Il Bussut realmente ha trovato $k=1,95$, ed il Bidone ha ottenuto

$$k = 2,23 \text{ e } k = 2,64.$$

III.° L'urto è minore quando la lastra di poco eccede la sezione della vena. Può anche divenire eguale al peso di un cilindro di acqua che abbia per altezza quella dovuta alla velocità, e per base tre quarti della sezione del foro d'efflusso. Allorchè è $B = mS$ si ha secondo l'esperienze di Dubuat $k = 1$ ed $e = 1$.

IV.° Qualunque sia la grandezza B della superficie urtata non si ottiene il massimo di urto che quando quella superficie rimane ad una certa distanza dall'apertura. Bidone ha trovato per una vena di $0^m,027$ di diametro che la distanza del massimo urto era a $0^m,16$ ove si aveva una velocità finale di $9^m,26$, e $k = 2,23$.

V.° La natura delle lastre esposte all'urto non che il modo con cui sono spianate influisce sull'urto. Il Zuliani lo ha trovato maggiore sovra un disco di ferro che sopra un disco di legno. Moltissimo effetto poi vi produce una piccola inclinazione. Osservando nell'atto che si fa l'esperienza la campana formata dal velo fluido è facile argomentare dalla sua regolarità quella della disposizione della lastra; e dall'andamento de' primi tratti della curva che i filetti fluidi fuggenti descrivono, è facile accorgersi se essi rimangono paralleli alla lastra, e perciò se questa è sufficientemente estesa per avere il massimo di urto.

VI.° L'osservazioni sperimentali fatte dal sig. Morosi avvertirono dell'aumento di resistenza che si ottiene quando si cinga la lastra di un'orlo rilevato capace di rivolgere verso l'alto i filetti della vena fluida che sfuggono dopo l'urto, siccome abbiam veduto dovere essere anche per teoria. Nè molto dall'esperienza si discosta la teoria, mentre quasi del doppio mostrano potersi col ribordo aumentare l'effetto dell'urto. L'esperienze del Morosi portavano che si aumetava col porre conveniente ribordo, oltre al doppio. Il Bidone ha ripreso il soggetto e con una vena di $0^m,027$ in diametro sovra una lastra di diam. $0^m,081$ ha trovato che si aumenta l'urto coll'altezza del ribordo finchè non era essa $0^m,008$, cioè circa un decimo della larghezza, e dipoi cominciava per le successive maggiori altezze a diminuire. Il valor massimo era $k = 3,95$, e allora avevasi la pressione idraulica 1,77 volte più grande di quella senza ribordo

Altezza	*Coefficiente*
0,0000	2,220
0,0022	3,349
0,0045	3,713
0,0068	3,900
0,0079	3,909
0,0135	3,851
0,0406	3,447

VII.° Gli urti obliqui per i resultati sperimentali non seguono la ragion

duplicata dei seni d'incidenza quando si valutano nella direzione del moto della vena fluida. Ma allorchè si valutano nella direzione normale alla lastra urtata è stato ritrovato dal Vince che dà 10°, a 90° segnone la proporzione diretta del seno dell'angolo d'incidenza. Come mai in questo caso possa aversi la conferma della teorìa e nell'altro nò, mal si comprende, e fa dubitare dei resultati sperimentali che han dato luogo a queste deduzioni.

VIII.° Veduto anche in questo soggetto dell' urto di una vena fluida isolata, molta incertezza nelle leggi, ho creduto conveniente di intraprendere una serie d'esperienze coll'ajuto de' sigg. dottori Antonio Gianni, e Olinto Cocchi. Ed ecco le conclusioni che ne ho tratte a schiarimento non solo dell' urto obliquo, ma anche delle altre deduzioni che si sono notate per le esperienze preesistenti.

La distanza a' della lastra dal foro quando il getto è vesticale deve sommarsi con il battente o con la distanza verticale a del livello dal foro per avere l'altezza dovuta alla velocità. Sebbene così si abbia quella solo con approssimazione, giacchè l'aumento della distanza della lastra dal foro non ben supplisce ad una egual diminuzione di battente, forse per l'accelerazione e discontinuità che ha luogo nella vena fluida. Ciò resulta dalla seguente tavola

Valori di a	a'	*Urto per fori del diam.* $0^m,0092$	$0^m,019$	$0^m,0255$
$1^m,26$	$0^m,00$	$0^k,0916$	$0^k,3984$	....
1,21	0,05	0,1318	0,5063	....
1,16	0,10	0,1318	0,5063	0,9618
1,01	0,21	0,1079	0,4772	0,9420
0,75	0,51	0,0747	0,3652	0,6391

Questa tavola mostra ancora che l'urto è ben più piccolo quando la lastra rasenta l'apertura del foro, e che si ha un massimo ad una conveniente distanza, (IV) la quale qui resulterebbe tra un mezzo decimetro ed un decimetro.

A tal punto avendosi la migliore disposizione della lastra, ed essendo anche essa esuberantemente estesa, noi crediamo che si possa notare il confronto fra la formula teorica (153. VII), e il resultato dell'esperienza: cioè se tra l'urto e la sezione del foro si ha un rapporto r costante: se il coefficiente km è costante e qual valore abbia. Eccone i resultati

Sezione S	*Urto*	*Rapporto* r	*Valore di* km
$0^m,000067$	$0^k,1318$	1962	1,7
0,000284	0,5063	1785	1,5
0,000511	0,9618	1869	1,6

Si scorge che valutando il coefficente m della contrazione della vena si avrebbe per k un valore più grande di due unità (I): e che l'urto è prossimamente proporzionale alla sezione della vena.

Relativamente all'ampiezza che deve aver la lastra perchè se ne ottenga il massimo urto (I) mi è resultato, che non può determinarsi senza aver riguardo al battente. Giacchè deve essere essa tanto più grande quanto è più il carico dell'acqua, e deve crescere il suo rapporto alla sezione del foro a misura che i fori sono più piccoli. Onde per i fori piccoli dovrà esser la lastra 15 volte circa più grande della sezione di quelli, e per i fori grandi basterà

che sia circa 10 volte. Meglio potrà tuttociò dedursi dall'ispezione della seguente tavola

Sezione s		Estens. della lastra per a 0,50	a' 0,51	a 0,75	a' 0,51	a 1,00	a' 0,51
0,000067	tra	0,00126		0,00126		0,00126	
		0,00094		0,00094		0,00094	
0,000177	tra	0,00126		0,00261		0,00261	
		0,00094		0,00126		0,00126	
0,000284	tra	0,00126		0,00126		0,00261	
		0,00094		0,00094		0,00126	
0,000381	tra	0,00261		0,00261		0,00261	
		0,00126		0,00126		0,00126	
0,000511	tra	. . . . .		0,00503		0,00786	
		0,00261		0,00261		0,00503	

L'urto obliquo valutato sulla direzione della vena fluida che dovrebbe per teoria essere proporzionale al quadrato del seno dell'angolo di incidenza (154. III), trovasi per esperienza al crescere dell'angolo soffrire una decrescenza molto minore, e tanto più piccola quanto è minore la sezione della vena fluida. Nelle vene fluide assai grandi si avvicina alla potenza 1 $^1/_2$, mentre in quelle piccole è alla potenza $^1/_2$ del seno d'incidenza. Onde io penso che la proporzione del quadrato di questo seno indicata dalla teoria quando si valuta l'urto nella direzione della vena fluida, come quella della prima potenza del seno quando valutasi nella direzione normale alla lastra, si abbiano a ritenere come limiti dipendenti dalla ampiezza della vena fluida, ai quali tende la decrescenza dell'urto al crescere dell'obliquità, ed ai quali forse giunge solo nel caso che la vena fluida abbia la massima ampiezza, cioè sia estesa quanto la lastra. Nel caso della vena isolata si ha sempre un'effetto più grande, e credo per il piegamento dei filetti in prossimità della lastra. Ecco la tavola de' resultati

Angoli	Urti per i diametri $0^m,005$	$0^m,0092$	$0^m,019$	$0^m,0255$
90°	$0^k,0456$	$0^k,1079$	$0^k,4772$	$0^k,9429$
80	0,0456	0,1079	0,4731	0,9379
70	0,0415	0,1037	0,4482	0,8715
60	0,0332	0,0996	0,3984	0,7968
50	0,0290	0,0913	0,3154	0,6100
40	0,0207	0,0788	0,2556	0,5395
30	0,0166	0,0581	0,1577	0,3154
20	0,0144	0,0415	0,0996	0,1867
10	0,0124	0,0249	0,0581	0,0830

156. *Reazione della vena fluida contro i vasi.* — La stessa forza con la quale una vena fluida agisce sovra una lastra tanto per l'urto diretto, che per quello obliquo, si risente per reazione dal vaso allorchè il liquido sgorga dal suo orifizio. Che anzi avendosi un vaso pendente da un punto fisso pieno di acqua che stia col suo asse verticale si vedrà dal momento che si è aperto un orifizio, il quale getti orizzontalmente, deviare dalla verticale l'asse del vaso in direzione opposta a quella dell'efflusso. Esisterà una differenza nel caso che il liquido si lasci fluire liberamente nell'aria dal caso in cui li si opponga una lastra ove urti la vena fluida. Nel primo caso la reazione sul vaso sarà dovuta al disequilibrio che mostrano le pressioni orizzontali sulle pareti nello strato ove è l'orifizio, le quali nell'atto dell'efflusso essendo ridotte di niun valore sopra la luce del foro, resteranno attive quelle eguali ed opposte sopra la parete che rimane di contro al foro per un'ampiezza corrispondente

a quella del foro stesso: onde in questo caso la intensità della reazione per piccoli fori sarà misurata dal peso di un cilindro di acqua che ha per base la sezione del foro, e per l'altezza il carico dell'acqua al di sopra del suo centro. Nel secondo caso la reazione sarà misurata dalle formule che si sono stabilite per la pressione idraulica (153)

Resistenza in un mezzo indefinito

157. *Della comunicazione laterale del moto ne' fluidi.* — E qui sarà utile a dilucidazione di cose dette e da dirsi sulle resistenze de' fluidi fermarsi un poco ad osservare questo fenomeno che è stato studiato dal Venturi e da Lechevalier. Esso ha luogo ogni qualvolta una porzione della massa fluida si trova sollecitata da un moto differente da quello del resto della massa stessa. Il fenomeno può osservarsi col far muovere una sottil lastra entro un liquido, e si vedranno i filetti fluidi andare come per linee convergenti dagli strati più lontani a quelli prossimi alla lastra, ed accrescersi in questi la velocità a misura che più si avvicinano alla lastra. Le sue cagioni sono nei liquidi principalmente la viscosità e la coesione, che diminuendo la mobilità delle particelle ne impediscono una brusca separazione. Ma non può negarsi l'esistenza di un'altra cagione poichè il fenomeno ha luogo ancora nei fluidi aeriformi, e questa è certamente l'etere (*Intr.* 6 10), il quale soffrendo condensazioni, o rarefazioni obbliga le particelle ponderabili ad attirarsi o respingersi. Riteniamo adunque che non può da un fluido comunicarsi moto ad una parte senza che ne risentano effetto anche le parti circonvicine, e si abbia in ciò perdita di forza; nè può muoversi un solido in un fluido senza che si trasporti seco nel movimento porzione più o meno grande del fluido circostante. Dietro i resultati delle esperienze possiamo ammettere che essendo B la sezione del solido, si rende la comunicazione del moto sensibile fino all'estensione

$$B' = 6,46 . B$$

quando si muove il fluido, ed anche maggiormente se il fluido è in quiete e muovesi il corpo.

158. *Corpi mossi in un mezzo indefinito.* — Le differenze tra l'urto di un solido contro una vena fluida isolata, o contro un mezzo fluido indefinito consistono in questa comunicazione laterale di moto, e nel reparto delle pressioni che si fa all'intorno del solido. Noi non distingueremo il caso che il solido si muova in un fluido in quiete dall'altro che il fluido si muova contro un solido in quiete, o dall'altro in cui l'urto segua per movimento di ambedue i corpi, giacchè ci dipartiremo in tutti questi casi dalla velocità relativa tra il solido e il liquido come quella che dà luogo all'urto. Solo farò notare che le figure 16 e 18 (Tav. V.) mostrano l'andamento de' filetti quando si muove il solido contro il liquido in quiete, e le figure 17 e 19 lo mostrano nel caso opposto. Son da notarsi i vortici che han luogo dietro al corpo a coppia a coppia, e dopo la prima coppia ne succede una seconda inversa, e così di seguito sempre di minore forza e più ampli. Questo è il modo ordinario col quale si estingue il moto ne' fluidi.

159. *Prua e poppa fluida.* — Ogni corpo mosso in una massa fluida trascina seco alla parte ante-

riore una prua fluida, ed è seguito da una poppa fluida, provenienti dalla deviazione che provano le molecole circolando per filetti di forma invariabile. Dubuat per i prismi e i cilindri retti mossi parallelamente al loro asse in fluidi in riposo, indicato con n il rapporto del fluido trasportato a quello del corpo, trova

$$n = 0{,}705 \frac{\sqrt{B}}{L} + 013$$

essendo L la lunghezza, e B l'area della sezione trasversale del prisma. Onde per L piccolissimo cioè per i piani sottili mossi nel senso normale alla loro superficie si può dire che il volume del fluido trasportato è

$$n B L = 0{,}705 B \sqrt{B}$$

E per L grande in confronto di B è sensibilmente proporzionale a questa lunghezza, cioè

$$n B L = 0{,}13 BL$$

Nelle sfere mosse nell'acqua il volume trasportato, può stimarsi presso a poco 0,585 di quello della sfera.

160. *Pressioni su corpi mossi ne' fluidi.* — Le pressioni si fanno dal liquido tutte all'intorno del corpo con intensità diversa nei differenti punti: massima è alla parte anteriore cioè finchè non si giunge alla maggior larghezza del corpo; minima alla parte posteriore, ove tendendo a farsi un vuoto si ha una pressione molto al di sotto di quella idrostatica. Nel caso (Tav. V. fig. 18, 19) che il corpo presenti delle parti laterali, anche in queste si avrà una pressione minore di quella idrostatica, ma non di tanto quanto è quella posteriore. Chiamata A la pressione idrostatica ed a l'altezza dovuta alla velocità della corrente noi rappresenteremo con $n'a$ la pressione che nel moto si aggiunge alla parte anteriore del corpo, e con $n''a$ la non-pressione, o la diminuzione di pressione che segue alla parte posteriore. La pressione resultante, o eccesso di pressione della parte anteriore sù quella posteriore, sarà $A + n'a - (A - n''a) = (n' + n'')a$

161. *Resultati d'esperienze.* — Si può fare uso del tubo di Pitot particolarmente quando sia munito di un piccol foro alla sua apertura (147), e si adatti la lastra, ove è scolpito quel foro, a far parte della superficie del corpo nel luogo ove vuole misurarsi la pressione. La differenza d'altezza a cui l'acqua sale nello stromento secondo il foro è rivolto contro la corrente ovvero è nel senso della corrente misurerà la differenza di pressione anteriore e posteriore che si fa nel luogo corrispondente al foro. Il Dubuat univa alla apertura del tubo una cassetta di latta con una faccia sparsa di molti fori.

I. Sulla faccia anteriore del solido la pressione è massima nei punti situati verso il mezzo, e minima verso il perimetro con notabile degradazione. Lo stesso ha luogo nella faccia posteriore ma con differenze minori.

II. La differenza fra la pressione anteriore e posteriore cresce al diminuire della lunghezza del solido, e viceversa diminuisce all'allungarsi il solido fino ad un certo limite.

III. Col variar la lunghezza del solido la pressione anteriore non cangia punto; scema quella posteriore mentre come ho detto si allunga il solido entro il rammentato limite.

IV. I coefficienti n' n'' sono stati determinati dal Dubuat sperimentando sei prismi di differenti lunghezze. E sempre egli ha ritrovato $n' = 1{,}19$, ed $n'' = 0{,}86$ circa, per i prismi cortissimi o per le lastre, ed $n'' = 0{,}55$ per i prismi lunghi.

162. *Urto o resistenza in un mezzo indefinito.* — Se si dovesse stare ai resultati delle esperienze del Dubuat, dovrebbe distinguersi il caso che il solido stia fermo, mentre è urtato da una corrente, dal caso che quello si muova nel fluido in quiete e risenta la resistenza del mezzo. Egli troverebbe più piccola la resistenza che l'urto nel rapporto di 1 : 0,77; ma le sue esperienze non sono pienamente confermate, nè è facile conorcere plausibil ragione per dover distinguere il valore dell'urto in un mezzo fluido indefinito, dal valore della resistenza sotto egual velocità relativa, avendosi in ambedue i casi sempre una pressione idraulica. Onde noi stabiliamo che la formula di misura della pressione idraulica sarà quella sopra trovata (153.VII) parlando dell'urto della vena fluida isolata, se non chè in luogo della velocità v del liquido, chiamando v' la velocità del corpo che può muoversi in mezzo al liquido, dovremo sostituire $v - v'$ ovvero $v' - v$ ovvero $v + v'$ secondochè sono le due velocità nello stesso senso, e v più grande o più piccola di v', oppure sono in senso contrario. Come anche il valore del coefficiente k varia d'assai per ciascuno di questi casi, come noi vedremo in appresso, non avendo qui più luogo il coefficiente m di contrazione della vena, ma in sua vece dovendosi valutare le perdite di forza viva che han luogo per i vortici che si fanno all'intorno del corpo, intanto dirò che nella pratica per avere la resistenza espressa in modo, che essa valuti l'effetto delle pressioni, si potrà usare la formula

$$p(1,19 + n'')\,BA$$
$$= 1000^k\,(1,19 + n')\,\frac{Bv^2}{2g}$$

I. In questa formula non si è tenuto conto della massa fluida che accompagna il corpo perchè abbiamo supposto il moto uniforme. Che se il moto sia vario, e non uniforme converrà aggiungere per ogni tempuscolo t l'effetto dell'inerzia di quella massa M' fluida, che è dal solido trascinata, cioè

$$\frac{M'v''}{t}$$

essendo v'' l'accrescimento o la diminuzione di velocità che accade in quel tempuscolo.

II. Il Poncelet stabilisce una bella teoria per la ricerca del valore di questa resistenza, e particolarmente del coefficiente k. Segue i principj del Bernoulli e del Borda sull'uso delle dottrine della forza viva nello scolo de' liquidi, e fa conto dell'osservazione del Dubuat: che cioè, le molecole fluide deviate dall'ostacolo si muovono come in una specie di canale prismatico (Tav. V. fig. 16, 17, 18, 19, 20) con pareti ideali esistenti a quella distanza ove si può ritenere quasi estinta la comunicazione laterale (157) del moto. Egli ammette l'ipotesi del parallelismo degli strati, o delle velocità e pressioni medie eguali in ogni molecola di una data sezione. Chiamiamo B la superficie urtata della lastra sottile che si suppone formi il solido (Tav. V. fig. 20), p la densità del fluido, v la celerità uniforme perpendicolare alla sua direzione, B' l'area della sezione trasversale del canale immaginato, m il coefficiente della contrazione sofferta da filetti fluidi presso il bordo della lastra, v_1 la velocità media del fluido nella sezione contratta, n il fattore numerico maggiore dell'unità che deve moltiplicare questa velocità perchè si abbia in quella sezione restituita la som-

ma delle forze vive, P P′ le pressioni medie unitarie che han luogo sulla parte anteriore e posteriore del corpo, Q il volume ed M la massa del fluido che passa nell'unità di tempo dalle sezioni trasversali B′, m (B′ — B). Per i principj delle forze vive, abbiamo

$$Mn^2 v_1^2 - Mv^2 = 2gM\left(\frac{P}{p} - \frac{P'}{p}\right)$$

e chiamando R la resistenza provata dal solido nel mezzo fluido, viene ad essere

$$R = (P - P') = Bp\left(\frac{n^2 v_1^2}{2g} - \frac{v^2}{2g}\right)$$

E poichè per la continuità della massa si ha $v : v_1 :: m\,(B'-B) : B'$ eliminando v_1 otterremo

$$R = pB\left(\frac{n^2B'^2}{m^2(B'-B)^2} - 1\right)\frac{v^2}{2g}k = \frac{n^2B'^2}{m^2(B'-B)^2} - 1$$

Se qui poniamo $B' = 6{,}46\,B$, $m = 0{,}75$, e $k = 1{,}86$ coerentemente ai resultati d'esperienza, si ritrova $n = 1{,}0714$ per il fattore che serve a correggere nella formula l'inesattezza che può venir dalla ipotesi ammessa della celerità media. Il qual valore per la sua prossimità all'unità non è punto improbabile. Prosegue il Poncelet determinando le formule per il caso che il solido abbia una notabile lunghezza, e ne fa risultare l'analogia con il moto dell'acqua per i condotti discontinui; e fa pur notare come nel caso che sia il solido terminato da poppa, e da prua si ha l'effetto de' tubi addizionali convergenti e divergenti. Finalmente tratta della resistenza contro le superficj oblique, ed io per fare meglio agli studiosi gustare questa lodata teoria, ne dirò in appresso.

III. Le medesime formule non possono applicarsi che a corpi di forma simile: pure sebbene gli altri elementi influiscono, non sembra che la figura della superficie B (cioè sia essa un triangolo, un quadrato, o un circolo) possa alterare la resistenza. La prua produrrà un' effetto ben notevole, e la sua acutezza scemerà la resistenza: e la lunghezza della prua potendo dare una resistenza collo sfrugamento del liquido lungo le facce, verrà ad aversi un limite anche all'effetto dell'acutezza della prua. Ancora la poppa del corpo può dare un'effetto sebben minore, principalmente per i vortici che può fare evitare.

IV. La lunghezza del corpo, o dimensione nel senso del moto, fa variare la resistenza. Essa divien minore perchè più piccola è la non-pressione alla parte posteriore. E ciò fino ad un certo punto perchè anche qui può dirsi, che al crescere eccessivamente la lunghezza, si fa sentire l'effetto dello sfregamento del liquido lungo questa dimensione del corpo.

V. Circa a questo sfregamento possiamo qui intendere ripetuto ciò che si è detto parlando della resistenza de' tubi e de' canali, e rappresentando con s la superficie sfregata sarà $p\,s\,(av + bv^2)$ la formula relativa, dovendo l'esperienza determinare i coefficienti a, b.

VI. Anche la natura particolare del moto curvilineo deve produrre alterazione nella resistenza, e per le differenti velocità che acquistano le diverse parti del corpo che sono più e meno distanti dall'asse di rotazione; e per la forza centrifuga che acquista il liquido. Nel moto oscillatorio del corpo solido si avrà spesso da considerare il liquido come in movimento, ed anche in movimento opposto, allorchè il solido dopo aver compita un' oscillazione, torna indietro per l'oscillazione successiva.

VII. Anche per il caso che una sottil lastra (Tav. V. fig. 21) sia obliqua alla direzione del moto ammettiamo che i filetti si dirigano come se il liquido fluisse per lo spazio anulare, che rimane fra il suo bordo e le pareti, che si possono imaginare ove il liquido ambiente non soffre sensibile alterazione. Primieramente la contrazione non seguirà egualmente per ogni punto all'intorno del bordo e sarà maggiore sul lato della lastra che è più avanzato; ed anche a quel lato deve rimaner più prossimo l'asse centrale della massa fluida sottomessa alla deviazione de'filetti. Quindi il coefficiente m medio di contrazione su tutto il contorno deve generalmente aumentare al crescere dell'angolo d'incidenza, ma meno rapidamente di quello che converrebbe alla diminuzione della convergenza de'filetti che si ha nella parte meno avanzata della lastra. Ora conservando le stesse denominazioni che sopra, colla differenza che qui v_1 indicherà la media velocità nella sezione ristretta all'intorno della lastra; e chiamando ψ l'angolo d'incidenza di essa colla direzione del moto si avrà per l'equazione delle forze vive, e per quella della continuità

$$M n^2 v_1^2 - M v^2 = 2g \; M \left(\frac{P}{p} - \frac{P'}{p} \right)$$

$$m \left(B' - B \, sen \, \psi \right) v_1 = B' v$$

Perciò eliminata v_1 otterremo la resistenza perpendicolare

$$R = p B \frac{v^2}{2g} \left(\frac{n^2 B'^2}{m^2 (B' - B sen \psi)^2} - 1 \right) sen \psi$$

$$k' = \frac{n^2 B'^2}{m^2 (B' - B sen \psi)^2} - 1$$

Questi valori devono essere moltiplicati un'altra volta per $sen \, \psi$ nel caso che si voglia la resistenza misurata nella direzione del moto. Avvertasi che m varierà da 0,75 a 0,88 e poi nell'applicazione si troverà la formula assai corrispondente ai resultati dell'esperienza.

163. *Resultati d'esperienze.* — Il Ximenes adoprava la sua ventola, (Tav. V fig. 15) della quale ho già descritto l'uso (149), ove era nota la velocità, come sarebbe poco sotto il filone dopo avere col galleggiante semplice determinata quella del filone, e dal peso occorrente a tener lo strumento equilibrato, deduceva l'urto normale, o obliquo della corrente. Può usarsi egualmente il Tacometro di Brunings (Tav. V. fig. 4) che è stato del pari descritto (150). Il Dubuat ha usato il suo apparato (161) simile al tubo di Pitot anche per la ricerca della misura assoluta della resistenza. Il Newton aveva fatte simili esperienze facendo cadere nell'acqua de' globi di cera impiombati, e facendoveli oscillare. Le più recenti sperienze di Piobert sono eseguite facendo muovere per la verticale un piano. Da tutti questi modi di sperimentare si deduce:

I. L'urto o la resistenza contro la ventola, e contro i globi si trova proporzionale al quadrato della velocità, almeno dentro i limiti di $0,^{m}6$ e $3,^{m}5$. Sembra che questa legge abbia luogo anche per velocità maggiori quando il corpo è del tutto sommerso, ma per le velocità più piccole di $0,^{m}6$ si è trovato che la diminuzione di resistenza è men rapida del quadrato della velocità, e probabilmente per la viscosità dell'acqua. Anche nelle oscillazioni dalle esperienze di Newton si deduce, che per le piccolissime velocità la resistenza trovasi più grande di quel che porta l'indicata legge.

II. L'urto diretto contro la ventola piana è eguale al peso di un pri-

ma d'acqua di base a lei eguale, e dell'altezza dovuta alla velocità. Questo valore ritrovato da Ximenes, mi sembra eccessivamente piccolo perchè sarebbe eguale a quello che si ha per il più favorevole allungamento del prisma immerso, e per una sottil lastra è stato trovato da Dubuat $k = 1,43$ quando si muoveva il solido, ed 1,86 quando era mosso il liquido. L'esperienze recenti di Piobert Morin e Didion pel primo caso han dato $R = 0,934\,B + 2,81\,p\,B\,A$. Nella qual formula potendo trascurarsi il termine costante quando la velocità sorpassa $0^m,6$ abbiamo allora $k = 2,81$.

III. La resistenza di un globo è la metà di quella del suo cerchio massimo, cioè per i circoli e per i cilindri si può porre $k = 1/2$. Ancora questo resultato dovuto al Newton è posto in dubbio dalle esperienze di Dubuat e di Beaufoy, dalle quali si dedurrebbe $k = 0,35$, ovvero per le piccole velocità $k = 0,4$.

IV. Nè la ragion duplicata de' seni d'incidenza, nè la ragion semplice sono la vera legge degli urti obliqui. Vince, Hutton, e Thibault han fatto esperienze col mezzo di un volano ad asse verticale tenendo le palette dirette secondo i raggi, e Duchemen ha espresso la legge de' resultati ottenuti dall'ultimo de' rammentati sperimentatori con la formula

$$\frac{2\,sen^2\psi}{1+2\,sen^2\psi}$$

Ben poco differiscono fra loro queste serie d'esperienze. Quelle del Dott. Vince han dato de' resultamenti un poco più piccoli per i grandi angoli. Potrebbe questo derivare dal maggior numero delle palette che portava il volante, avendone quello del Vince quattro, una sola quello di Hutton, e due quello di Thibault. Ma la differenza bene si potrà scorgere dalla seguente tavola, ove è presa per unità la resistenza diretta, valutata nella direzione del moto.

Angolo	Resistenza secondo		
	Vince	Hutton	Thibault
90°	1,000	1,000	1,0000
85	....	0,998	0,9900
80	0,904	0,989	0,9851
75	....	0,977	0,9793
70	0,916	0,956	0,9458
65	....	0,925	0,8943
60	0,828	0,886	0,8305
55	....	0,833	0,7950
50	0,669	0,768	0,7711
45	....	0,682	0,6818
40	0,506	0,579	0,5879
35	....	0,461	0,4921
30	0,331	0,347	0,3823
25	....	0,241	0,2697
20	0,157	0,156	0,1816
15	....	0,091	0,1096
10	0,048	0,046	0,0574
5	....	0,018	....

V. L'estenzione della superficie urtata qualche cosa influisce, e sovra una lastra sottile la resistenza cresce in ragion maggiore della estenzione della superficie, infatti il valore di B sopra riportato dietro l'esperienze di Piobert e Com. conferma ciò. In corpi allungati, e geometricamente simili, l'urto è sensibilmente proporzionale alla superficie urtata.

VI. A misura che aumenta la lunghezza del prisma urtato, o mosso, diminuisce la resistenza, e ciò fino a tanto che la lunghezza del prisma non è cinque o sei volte $\sqrt{B}$, allora si ha $k = 1$.

VII. A determinare l'effetto dell'eccessivo allungamento del solido

Beaufoy mosse nell'acqua, con la velocità di 2^m, tre prismi a base quadrata di cui la lunghezza a confronto col lato della base era 10. 17,5 e 34,6; e trovò resistenze che davano respettivamente

$k = 1,14 \quad = 1,16 \quad = 1,31$

quando non si facesse conto della formula da aggiungersi (162, V.) per l'effetto della lunghezza. Per i prismi mobili in un fluido in riposo, ritenendo per L la lunghezza e per B la sezione che soffre l'urto, secondo Duchemin può usarsi la formula

$$k = 1,254\left(1 + \frac{0,227\,L}{9\sqrt{B} + L}\right)$$

VIII. Perchè si comprenda l'effetto della prora e della poppa, osserverò che in un'esperienza di Beaufoy fatta con un cilindro del diam. $0^m,344$, e lungo $0^m,505$ si era ottenuto $k=1,03$. Posta una semisfera alla prora dello stesso diametro si ebbe $k = 0,328$; posta quella alla poppa si ebbe $k = 0,888$: posta una semisfera alla poppa ed una alla prora, si ebbe $k = 0,276$. Onde la prora produce maggiore effetto della poppa.

Resistenza pei galleggianti.

164. *Dei corpi galleggianti.* — Nei corpi che non sono totalmente immersi, ed anche in quelli che rimangono a piccolissima profondità sotto la superficie dell'acqua, la resistenza deve farsi un poco differente per la irregolarità chè presenta la superficie dell'acqua in prossimità del solido che si muove. Un corpo galleggiante mosso entro l'acqua presenta un ciglio liquido rilevato alla parte anteriore, ed incavato alla parte posteriore. Quindi sulla superficie dell'acqua si farà lungo le parti laterali del corpo una corrente dalla parte anteriore alla parte posteriore, ed il liquido tenderà a sollevare il galleggiante sulla parte anteriore. Il ciglio che si eleva alla parte anteriore dovrà essere alto quanto è l'altezza dovuta alla velocità del solido che urta l'acqua, ed altrettanto presso a poco dovrà essere la depressione del liquido alla parte posteriore. Questo porta un'aumento di pressione ma non precisamente nella proporzione in cui si è accresciuta la superficie bagnata, anzi un poco meno perchè rimane senza velocità urtante quell'acqua che è alla sommità del ciglio. Onde rappresentata sempre con B la superficie bagnata nel caso dell'urto diretto, o la sua proiezione, si può ritenere per la misura dell'urto la formula che abbiamo stabilita per l'urto diretto, con una qualche differenza nel coefficiente.

I. La sollevazione della prora ha tanto maggiormente luogo quanto è più grande la velocità.

II. Questo inalzarsi della prora facilita lo sfuggire dell'acqua davanti al galleggiante, e diminuisce la resistenza. Per cui nell'arte nautica è da studiarsi con una forma particolare da darsi al battello il modo di avere il sollevamento al massimo grado.

III. Nel far avanzare più battelli di conserva in convoio, si ha vantaggio per la minor resistenza che si incontra nell'andare quelli di dietro nel senso della corrente che si forma per il moto di quelli davanti, massimamente quando si pone per primo il più grande. Anche la prossimità per fianco dei galleggianti presenta qualche diminuzione di resistenza; ed i fori o aperture che potessero farsi in un piano diminuiscono la resistenza in ragion maggiore della loro sezione.

165. *Resultati di esperienza.* — Nel fare esperienze conviene aver cura che la linea di trazione passi per il centro della parte immersa. Si usano col mezzo di carrucole e corde dei pesi che cadano dall'alto, ma conviene aspettare che abbiano acquistato moto uniforme, o usare a quest'oggetto qualche regolatore. Nel moto de' battelli può lo stesso motore ordinario misurare la resistenza, deducendola dal calcolo, o dall'uso de' dinamometri.

I. Il Bossut ha posto un prisma (A) retto a base quadrata con lati di $0,^{m}532$ e con lunghezza $0,^{m}697$ galleggiante sull'acqua, e lo ha fatto tirare orizzontalmente con diversi pesi per il tratto di 21^{m}. Ha poi aggiunto altro prisma triangolare cosicchè il solido (B) presentasse in prora una faccia inclinata per 43°1′ alla superficie fluida, ovvero in modo che il solido (C) presentasse un'inclinazione di 25° 26′. Sono poi stati rovesciati questi ultimi due tronchi di prisma che ora io li rappresento con (B′) (C′), e si è ottenuto quanto segue. Le celerità notate son quelle che avevano ne' sei ultimi metri della gita quando il moto era bene uniforme.

Corpi	*Velocità*	*Resistenze*
(A)	1,00	1,00
(B)	1,24	0,65
(C)	1,48	0,455
(B′)	0,86	1,55
(C′)	0,93	1,11

III. Il sollevamento del livello alla parte anteriore del galleggiante, e la depressione a quella posteriore danno una resistenza aumentata, inquantochè deve ritenersi per superficie urtata B′ una alquanto maggiore di quella che rappresenta la projezione della parte del corpo che è immerso quando il liquido è in quiete. Contuttociò sulle piccole velocità sperimentate da Bossut l'aumento di resistenza fu quasi trascurabile. Nelle velocità maggiori di 1^{m} e 2^{m} per secondo, le recenti esperienze di Maeneil e di Russell sù battelli lunghi presentano sulle prime un'aumento nelle leggi di resistenza, e quindi allorchè la velocità giunge a 3^{m} o 4^{m} si ha una notabile diminuzione, ed anche con brusco passaggio. Questo fenomeno sorprendente parmi dovere attribuirsi principalmente al sollevamento che prova il battello alla parte anteriore, ma ha tuttora bisogno di essere studiato.

IV. Il Duchemin ragionando sulle esperienze di Bossut conclude che la resistenza de' prismi retti mossi secondo il loro asse alla superficie dell'acqua dipende dal rapporto della larghezza orizzontale alla loro lunghezza L. Onde sostituendo invece dell'altro (164. VII.)

$$\frac{L}{\sqrt{B}}$$

il rammentato rapporto, il valore di k diviene presso a poco quello che era per i corpi intieramente immersi; cioè per i prismi che hanno in lunghezza più di tre volte la larghezza orizzontale si ha $k=1,33$, quando la velocità non è grande, e il galleggiante non può soffrire sollevazione alla parte anteriore. Il Poncelet crede che per i prismi galleggianti, lunghi per più di tre volte la larghezza orizzontale, si abbia a porre $k=1,10$.

V. L'effetto delle poppe e delle prore è stato studiato aggiungendo le une o le altre ai corpi prismatici. Una poppa triangolare a facce piane verticali ha diminuito la resisten-

ra di 0,10 quando la sua lunghezza era due volte la larghezza, e di 0,16 quando era 2,5. Il prisma triangolare adoprato per prora fa variare maggiormente la resistenza, e secondo Duchemin chiamando α la metà dell'angolo tagliente che oppone il prisma all'acqua può rappresentarsi il di lei effetto con la formula empirica $0,75\ k\ sen\ \alpha$, ove k ha il valore determinato dalla formula dello stesso autore (164.VII). La prora tagliata a piano inclinato per disotto secondo l'esperienze di Bossut riduce pur molto la resistenza. Le prore cilindriche verticali riducono la resistenza 1,10 alla metà circa se sono circolari. Nei corpi prismatici, come nelle pile dei ponti, si ha vantaggio non solo nel fare curve le faccie della prora, ma anche quelle della poppa (135).

VI. La figura de' grandi vascelli è talmente studiata che offre, non la minima resistenza perchè devesi adempire ad altre condizioni, ma certamente poca resistenza dappoichè l'esperienze di Bossut han provato che in un modello di vascello si aveva un quarto o tutto al più un quinto della resistenza che offriva un prisma della stessa sezione.

166. *Esempio per la navigazione de' battelli sù canali, o fiumi di gran sezione.* — Consideriamo uno de' gran battelli che navigano sui fiumi, e che hanno forma assai vantaggiosa. Supponiamo che la sua più gran larghezza presa esternamente e a livello dell'acqua, o della fluttuazione sia di 3^m; che la profondità del fondo sotto questo livello, o il tirante d'acqua sia $0,^m70$; l'area B della sezione immersa nel fluido sarà alquanto minore di $3^m \times 0,^m7 = 2,10$; sia $B = 1,^{mq}70$ il valore esatto di quest'area. I battelli dei quali trattiamo hanno una lunghezza che sorpassa sei volte la più gran larghezza: se essi fossero senza poppa e senza prora, cioè veri prismi terminati da piani perpendicolari all'asse si avrebbe $k = 1,10$ (165). Ma siccome si ha una poppa dovrassi diminuire questo valore almeno di 0,16; onde il valore ridotto sarà $k = 0,924$. Attesochè il galleggiante è munito di prora con faccie curve, e con piano inclinato alla parte sottoposta potremo ridurre il coefficiente ad un terzo cioè $k = 0,308$. Onde abbiamo

$$R = 1000.0,308.1,7.0,051.v^2 = 26,70.v^2$$

supposto che sia il battello tirato all'alzajo da uomini colla loro velocità ordinaria di $0,^m6$ mentre l'acqua è ferma si avrà per resistenza $26,70.\ 0,36 = 9^k,612$, ed un lavoro $9^k,612.\ 0,^m6 = 5,77^{km}$ che può bene esser sostenuto da un solo uomo. Questo lavoro cresce come manifestamente scorgesi proporzionalmente al cubo della velocità.

Resistenze ne' canali stretti

167. *Effetto della ristrettezza del canale.* — Un solido immerso che si muova in un canale, il qual possa dirsi ristretto in confronto alla sua dimensione, risente maggior resistenza che se muovessesi in un mezzo indefinito: lo stesso accade se il solido sia in quiete, e si muova l'acqua. Nel primo caso si scorge che il solido funziona quasi come uno stantuffo cacciandosi l'acqua dinanzi, e tendendo a lasciare un vuoto alla sua parte posteriore. Nell'altro il liquido incontrerà gran difficoltà a passare per la piccola sezione che rimane nel canale ove è l'impedimento del solido. E siccome la resistenza incontrata dal

solido deve essere eguale in ambedue i casi ci dipartiremo dal secondo che meglio si presta alla teoria. Noteremo che dalla equazione delle forze vive, che ho sopra riportato (162), rilevasi dovere la resistenza esser maggiore quanto è più piccola la sezione B'. Quindi concludiamo che i resultati sopra riportati non possono essere applicati a' battelli che navigano per stretti canali. Facile è inoltre accorgersi che anche la velocità deve influire per dare più o meno sensibile l'effetto sulla resistenza della stretta sezione. Ai primi aumenti di velocità deve per l'aumento di resistenza farsi più grande il gran ciglio d'acqua che si accumula alla parte anteriore del battello, e per la gran depressione che avrà luogo alla parte posteriore; ma quando la velocità sarà sì grande che questo cumulo d'acqua nello sfuggire per la parte sottoposta del battello lo faccia discendere, come in un piano inclinato, allora si avrà una resistenza che non cresce più in ragione del quadrato della velocità.

168. *Resultati d' esperienze.* — I. Il Dubuat discutendo l'esperienze di Bossut, di Alambert e di Condorcet, ha riconosciuto che non si può ritenere per resistenza R' di un prisma ne' canali stretti, quella R sofferta nei larghi; e chiamando B' l'area della sezione trasversale del canale stabilisce

$$\frac{R'}{R} = \frac{8,46.\ B}{2B + B'}$$

In questa frazione si scorge essere $B' = 6,46\,B$ quando $R = R'$, cioè quando si rende insensibile la parete del canale; o $B' = B$ quando la resistenza R' è tripla, al qual limite sembrerebbe non poter mai arrivare.

II. Nei prismi muniti di prore angolari la resistenza è anche in questo caso minore; ma assai meno, che in un fluido indefinito influisce la forma della prora perchè sembra il corpo sempre obbligato a spingersi avanti a se quasi la stessa quantità d'acqua. Indicando con q il rapporto tra la resistenza del prisma munito di prora a quella dello stesso prisma senza prora; e con R'' la resistenza effettiva nel canale, Dubuat fu condotto a stabilire

$$R'' = R' \left\{ 1 - 0,183 (1 - q) \left(\frac{B'}{B} - 1 \right) \right\}$$

Forse questa formula è utile per i canali molto stretti, ma secondo l'esperienza di Aubuisson sul canale di Lingnadoca, che ha una sezione media di 27 metri quadrati, e le cui grandi barche ritengono al di sotto della linea di fluttuazione una sezione 7,5 metri quadrati, comparirebbe essa inesatta e sembrerebbe dovervisi sostituire l'altra

$$R'' = R' \left\{ 1 - 0,23 \left(\frac{B'}{B} - 1 \right) \right\} = 140^k \frac{B^2 v^2}{B' + 2B}$$

III. Quando la celerità del battello cresce, ed è tra quattro e cinque metri, il fluido ha formato avanti al battello un ciglio molto elevato. Se fermasi il battello tutto ad un tratto, il ciglio appianandosi dà luogo ad un onda saliente che si avanza sul livello del fluido con una celerità indipendente dalla celerità che aveva il battello, e che sembra solo dipendere dall'altezza dell'acqua nel canale. Per modo che se a sia quest'altezza può la celerità dell'onda dirsi $\sqrt{2g\,{}^1/_2\,a} = 3,13\,\sqrt{a}$. Dietro al battello si forma un vuoto nel quale l'acqua prossima precipitasi furiosamente rilevandosi spumosa. Le correnti laterali si portano con impeto contro le ripe, e le percuotono.

IV. Sorpassato di poco questo grado di velocità si viene a sormontare l'onda predetta, ed il battello si trova

in discesa come sopra un piano inclinato, e si ha il singolar fenomeno di veder la resistenza diminuita da un accrescimento di velocità. Ciò ha luogo allorquando la celerità del battello sorpassa quella dell'onda, di circa un quarto. Ne vien dunque il bisogno di confrontare la celerità del battello colla profondità dell'acqua che si ha nel canale per determinare la resistenza che esso incontra. In generale può stabilirsi che tanto è più profondo il canale più facile rimane la navigazione per i battelli ordinari; non così avviene per i battelli rapidi. Il d'Aubuisson, di cui ho seguito anche in questa dottrina le tracce, si propone di determinare la profondità che dovrà darsi al canale nell'ultima specie di navigazione da eseguirsi all'alzajo per mezzo di cavalli. Siccome egli dice, non può il cavallo percorrere che 16000,^{m} all'ora, cioè 4,^{m}44 per 1″; e d'altra parte conviene sorpassare di un quarto la velocità dell'onda, porremo $4,44 = 1,25 \times 3,13 \sqrt{a}$, ed avremo $a = 1,^{m}29$. Una profondità maggiore data al canale renderebbe più difficile quella navigazione.

Non lascerò di aggiungere che sotto queste rapide navigazioni si ottiene ancor minor degradamento nelle ripe del canale.

169. *Esempio per la navigazione di battelli per canali stretti.* — Abbia il canale la sezione di metri quadrati 26,55; ed una barca carica di 108 tonnellate sia tirata da due cavalli con una velocità di 0,^{m}817. La sezione trasversale d'immersione nello stato di riposo sia $B = 6,^{mq}84$. Siccome è $B' : B = 26,55 : 6,84 = 3,88$ scorgesi che la resistenza crescerà per l'influenza del fondo e delle pareti. Preso $k = 1,00$ per coefficiente di un battello senza prora mosso in un fluido indefinito, si avrà per questa prima resistenza

$R = 1000 . 1 . 6,84 \; 0,051 . (0,817)^2 = 233^k$.

E perciò la resistenza del prisma nel canale stretto sarà

$$R' = \frac{8,46}{2+3,88} R = 1,44 . 233^k = 335$$

Per aver quella del battello armato di prora, e di poppa, essendo la barca molto grande, useremo la formula

$$R'' = 335^k \left(1 - 0,23 (3,88 - 1)\right) = 117.$$

Il resultato dell'esperienza di Aubuisson e di Magnes è 120^k, e quella ha indotto il d'Aubuisson a variare la formula del Dubuat (168) nel caso delle grandi barche. Infatti se si fosse usata questa formula siccome conveniva prendere $q = 0,4$ per essere la barca guarnita di una prora, e di una poppa molto ottusa, si sarebbe avuto $R'' = 229^k$; cioè un valore quasi doppio di quello dato dall'esperienza.

CAPITOLO VIII.

Dell'acqua considerata come motore, e della composizione delle macchine idrauliche.

170. *Composizione delle Macchine idrauliche.* — Ancora in queste sarebber da distinguersi (196 *Intr.*) le tre parti delle quali si compone ogni macchina; la prima che è detta il ricevitor della forza, la seconda che è l'insieme dei meccanismi che trasmettono la forza o il movimento occorrente all'operazione, la terza che è lo strumento che produce l'operazione. Spesso sono però queste tre parti dipendenti da

differenti dottrine, cioè il ricevitore idraulico può servire ad una macchina meccanica, o viceversa: come accade in una ruota idraulica usata per fare agire un mulino, ed in un maneggio mandato da cavalli usato per sollevar acqua con trombe. Molto dobbiamo occuparci, per il grand'uso che si fa dell'acqua considerata come motore, degli idraulici ricevitori di forza. In questi la composizione non è sì semplice come nei meccanici (275. *Mecc.*) ed ha bisogno di essere studiata nelle sue diverse parti: onde è che io reputo conveniente premetterli qualche notizia sugli organi idraulici che si usano nella loro formazione. Con tal nome io chiamo quei meccanismi che servono a modificare i movimenti dell'acqua, o le forze da essa derivanti.

Dell'acqua considerata come Motore.

171. *Senza caduta non si ha forza motrice dell'acqua. Limitazioni di questo teorema.* — Le cose dette sul moto dell'acqua ci fan comprendere che non si muove questo fluido se non ha modo di obbedire alla forza di gravità scendendo da un luogo più elevato ad uno più depresso. E senza una celerità che l'acqua acquisti naturalmente, non può essa dar forza motrice. Il suo principio d'azione proviene dunque sempre dalla gravità, e richiede per condizione indispensabile uno spazio di discesa da percorrersi: onde non ha l'acqua alcuna specialità che la distingua dagli altri corpi, e come un solido in quiete non dà forza motrice, neppure in riposo la dà una massa d'acqua. Su questa conclusione ove alcuni poco istruiti, ma che pure han genio per i meccanismi, vanno errati è duopo che dietro l'esempio di Cristian io alquanto mi trattenga. Ancorchè si avesse un gran lago situato nella parte più bassa di una regione non potrebbe giammai quell'acqua servir da motore ammenochè non fosse possibile scavando la terra di aprirle una caduta. Si potrà fare quanto si voglia: potrassi mettere in moto mediante una forza estranea, inalzarla e lasciarla ricadere mediante alcune disposizioni meccaniche, essa non sarà un motore, ma bensì un' intermediario pel quale passa l'azione della forza estranea; essa agirà colla sua inerzia e tutto al più conserverà e restituirà la forza ricevuta. Io intendo dire che la forza straniera costi un prezzo, e che possa essa usarsi al pari della potenza dell'acqua; perchè se fosse senza prezzo allora si avrà un utile ritrovato. Infatti alcune vicende atmosferiche, ed il calore solare, fanno inalzare in vapore le acque dei mari, le quali ricadono in pioggia sugli alti monti da dove discendono al mare somministrando forza motrice utilissima negli opifici. Quando adunque analogamente, anche per meccanismi possa aversi elevata l'acqua, e non sia da tenersi in computo la elevazione di essa, o almeno abbia questa tenuissimo prezzo, allora torna utile di giovarsi della sua discesa. Per dilucidar meglio ciò, porto l'esempio di un recipiente il quale essendo di gran capacità sia per ogni parte chiuso, meno che in due aperture munite di valvula una alla parte inferiore che si apra dall'infuori all'indentro, ed una alla parte superiore che si apra dall'indentro all'infuori. Posi il recipiente sopra un livello di acqua stagnante, e sia stata chiusa la sua val-

vula superiore quando è piccola la pressione atmosferica. Aumentando questa, l'acqua stagnante premuta all'esterno del recipiente, più che dalla elasticità dell'aria interna, si introdurrà entro aprendo la valvula inferiore. In altro periodo scemando la pressione atmosferica o la elasticità dell'aria esterna, quella interna farà forza, terrà chiusa la valvula inferiore, ed aprendo quella superiore equilibrerà la sua elasticità con la elasticità esterna. Seguiterà questo gioco e verrà sollevata con minima spesa una certa (troppo poca peraltro) massa di acqua la quale potrà farsi discendere fra l'acqua stagnante, e darà utile colla sua forza motrice. Come seconda limitazione al teorema ho stabilito che possa usarsi la potenza estranea al pari di quella dell'acqua: Che se nell'uso dell'acqua si ottenesse più regolarità d'azione, o qualche altro speciale effetto che sia interessante per la lavorazione che ci proponiamo, tornerà allora conto di inalzare l'acqua, e poi usare la forza motrice di essa nella discesa: per es. se la forza del vento o quella di animali applicate ad un mulino da farina daranno il macinato imperfetto per la loro irregolarità d'azione, potrà convenire, quando assai di prezzo accresca il più perfetto macinato, di adoprare quelle forze ad elevare dell'acqua la quale poi ricadendo mandi la macina. In ambedue queste limitazioni si scorge che a rigore non può dirsi che agisca da per se l'acqua, ma che essa sia piuttosto un'agente intermediario, come un organo meccanico che trasforma le leggi del movimento.

Occorre su questo soggetto anche un'altra osservazione. Siccome non v'ha meccanismo così perfetto che somministri un lavoro utile (*Intr.* 198) eguale al lavoro motore: così se si impiegasse una caduta di acqua a sollevar dell'acqua non potrebbesi mai avere risollevata alla stessa altezza tutta l'acqua che ne è caduta. Che se si sollevasse ad altezza maggiore la perdita dell'acqua non compenserebbe mai l'aumento d'altezza, cioè il prodotto dell'acqua sollevata nell'altezza a cui è stata condotta, sarebbe sempre inferiore al prodotto dell'acqua caduta nell'altezza da cui è discesa. Conseguentemente con una data quantità d'acqua, per quanto grande essa sia, e qualunque siasi l'altezza della caduta, è impossibile ottenerne un'effetto utile, e ad un tempo riportare tutta l'acqua al luogo da cui è discesa; ed è impossibile servirsi indefinitamente di quella quantità d'acqua come motore nel modo stesso che si è detto impossibile il moto perpetuo (*Intr.* 96). Conviene che essa si rinnuovi continuamente; conviene per continuare l'azione che si abbia un corso di acqua, sia pure continuo, o intermittente.

172. *Lavoro meccanico dell' acqua*. — Quello che si è detto del modo di misurare in generale il lavoro meccanico (*Intr.* 105. *e seg.*), ed in particolare quello di una corrente (122), deve intendersi qui ripetuto. Ottimamente trattandosi di acqua si comprende che il di lei lavoro meccanico deve crescere proporzionalmente al prodotto del suo peso nell'altezza dalla quale essa cade, e che al variare di uno di questi fattori purchè varj inversamente l'altro non cambia il lavoro. Infatti ciascuno intende che se una caduta di acqua per l'altezza di 5^m che lasci fluire in ogni secondo 1000^k di acqua divisa in due eguali di 500^k d'acqua per ciascuna, po-

tesse mandare due eguali macchine; in pari modo le potrà mandare una caduta d'acqua che abbia l'altezza di 6,^{m} e somministri soltanto 500^{k} per 1,$''$. Si potrà l'una e l'altra dividere in due cadute di acqua di 500^{k} dell'altezza di 3,^{m} e non passerà dal primo al secondo caso altra differenza se non di aver nel primo le cadute, e perciò le macchine collocate una a lato dell'altra, e nel secondo una sotto l'altra.

In questo agente riproducendosi in ogni egual tempo eguale azione, ne avendo luogo la considerazione dell'ore determinate di lavoro per ogni giorno come ne' motori animati (*Mecc.* 272), converrà esprimere con PA^{km} il lavoro dato dal peso P d'acqua in kil. caduto dall'altezza A in 1$''$ espressa in metri. Per conseguenza quando si volesse confrontare questo lavoro dell'acqua con il lavoro giornaliero di un motore animato converrà moltiplicarlo per il numero di minuti secondi che formano l'intera giornata, cioè per 92400; come anche quando si vorrà il lavoro totale dato da una caduta d'acqua in un certo tempo, (questo espresso in secondi con T) dovrà rappresentarsi con P. A. T^{km}. Nel caso che voglia confrontarsi col caval-vapore non occorrerà considerazione di tempo avendo anche questa unita per suo tempo il secondo, cioè corrispondendo a 75^{k} inalzati ad un metro in 1,$''$ e si avrà per il lavoro di una caduta o di una corrente di acqua ridotto in caval-vapori

$^{4}/_{75} PA^{km} = 0,0133 PA^{km} = 13\,^{1}/_{5} QA^{km}$

Esprimesi con Q il volume d'acqua dato dalla corrente in 1.$''$ Parimente potrebbe usarsi per misura di questo lavoro l'espressione levata (122) dalla celerità v, e dalla sezione s del condotto

$$1000.\, s.\, v.\, \frac{v^2}{2g} = 51.\, s.\, v^3$$

175. *Lavoro trasmesso alla macchina, e lavoro utile.* — Non deve confondersi il lavoro meccanico della corrente o del motore con il lavoro che si imprime alla macchina. In teoria indicando quest'ultimo con pv_1 si dovrebbe avere $PA = pv_1$ ove p è lo sforzo col quale la macchina dovrebbe teoricamente lavorare e v_1 è la velocità che si imprime al punto d'applicazione della resistenza utile. Ma poichè in pratica si ha sempre una perdita di lavoro nel metodo usato per trasmetterlo, indicando con n la porzione non perduta potrà porsi np lo sforzo comunicato al ricevitore di forza, ed npv il lavoro trasmeso alla prima parte della macchina. Parlando di velocità della macchina si intende quella di regime. Poichè sul principio, e sul terminare del moto, si hanno due periodi di comunicazione di forza viva che devonsi solo considerare per il calcolo di questa, nei quali è varia la velocità; essa riducesi con poche oscillazioni quasi costante nel tempo intermedio, e dicesi di regime.

Da quella finchè non è la forza trasmessa alla terza parte o strumento si hanno delle perdite in resistenze nocive, onde detta n' la porzione di lavoro, che detratte queste rimarrà, si ha l'effetto, o il lavoro utile espresso con $E = nn'pv = m\,P\,A$ indicando con m un altro coefficiente da determinarsi con l'esperienza. In questa espressione np rappresenta lo sforzo esercitato dall'acqua sù quella parte della macchina ove essa agisce, ne può confondersi colla resistenza utile opposta dalla materia che si lavora, perchè può essere diversa da v, la velocità v_1 del punto di applicazione di questa resistenza, ed

in tutte le macchine si acquista in forza quello che si perde in velocità e viceversa. Onde PA, npv, E, sono il lavoro del motore, il lavoro disponibile, il lavoro utilizzato.

174. *Dell'acqua considerata come motore.* — Per il principio che un corpo il qual cade da una data altezza acquista tal forza che lo farebbe rimontare da dove è discese, può l'acqua con il suo peso o pressione idrostatica (Cap. I.) nella caduta agire come motore. Occorre un corpo che tenti opporsi alla caduta o ne sostenga il peso, perchè quello ne senta l'azione motrice. Agisce parimente come motore l'acqua allorchè posta in movimento col suo urto o pressione idraulica (Cap. VII.) comunica forza al corpo urtato.

Si ha ancora un'azione dall'acqua sebbene ritardatrice nella resistenza che oppone al movimento quando essa forma il mezzo ove quello deve effettuarsi (162).

Di quest'ultima parte ancora proseguiremo in seguito ad occuparci, or dei due aspetti sotto i quali l'acqua si presenta come utile forza motrice giova qui far confronto. Posto che si potesse raccogliere tutta l'acqua che scende da una altezza in un recipiente, ed il suo peso obbligasse questo a discendere, comunicherebbe al medesimo ed alla macchina, che le può essere connessa, una quantità di lavoro motore PA. Una porzione dell'acqua però più o meno grande sfugge dall'entrare in quel recipiente, e perciò si ha più o meno perdita del suo lavoro. Inoltre perchè tutto il lavoro PA venisse comunicato alla macchina converrebbe che rimanesse l'acqua senza alcuna forza viva, lo che non può mai accadere giacchè il recipiente che si abbassa per il peso o carico dell'acqua ha da muoversi con una certa velocità, e chiamata essa v' sarà $\frac{P}{g} v'^2$

la forza viva che rimane all'acqua che è dentro a quel recipiente, onde il lavoro comunicato sarà tutto al più

$$PA - \frac{P}{2g} v'^2 = \frac{P}{2g} (v^2 - v'^2)$$

Allorquando si ha l'effetto dell'urto il lavoro che si ottiene dall'acqua, trascurata ancor qui la perdita di quell'acqua che sfugge senza urtare la lastra contrapposta, resulterà dalla pressione idraulica (153).

$$1000^k . k . mS \frac{v(v - v')}{2g}$$

moltiplicata per il tragitto che fa la lastra il quale sarà $\beta v'$ essendo β il numero de' secondi che seguita l'azione, e perciò ponendo

$$P = 1000^k \, m \, s \, v \, \beta.$$

avremo

$$1000^k . k . mS . \beta \left(\frac{v'v^2}{2g} - \frac{vv'^2}{2g} \right)$$

$$= \frac{P}{2g} k v' (v - v')$$

Di qui scorgesi che sarebbe l'azione dell'urto eguale a quella del peso quando si avesse $k v' = (v + v')$. Noi abbiamo veduto riportando l'esperienze sull'urto dell'acqua che k variava il più spesso dal valore 1. a 2. Quest'eguaglianza è verificata quando $v = v'$ lo che farebbe sperire ogni lavoro utile della cascata d'acqua. Quando si facesse $v' = \frac{1}{2} v$ si avrebbe $k = 3$; ma siccome ben di rado si ha questo valore, e più comunemente è $k = 1,5$ verrebbe nell'urto la metà del lavoro che si ottiene nella pressione, come il più spesso vedremo resultare. Possiamo dunque stabilire che si perde sempre nell'uso dell'urto a confronto dell'uso del peso dell'acqua. Con tuttociò sia perchè molt'acqua non pro-

duce la sua azione quando se ne fa agire il peso; sia perchè k può avere un valore anche maggiore di 5 (155.VI), noi vedremo che le migliori ruote a cassette le quali agiscono col peso dell'acqua non danno che 0,78 del lavoro motore e quasi a questo resultato giungono alcune ruote orizzontali che ricevon forza dall'urto. Convien dire che meglio si sono studiate le costruzioni dei ricevitori di forza per urto, che quelle dei ricevitori di forza per peso.

175. *Relazione tra l'effetto utile e le forze vive all'entrata ed all'uscita del ricevitore.* — Chiamiamo M, la massa d'acqua che affluisce in un secondo talchè si abbia $P = Mg$; indicando per v la velocità che ha l'acqua mentre entra nel ricevitore, e ritenute le altre denominazioni già fissate per le velocità, sia u la celerità relativa tra il fluido e il ricevitore, la quale dando luogo ad urti irregolari produrrà una perdita di forza viva Mu^2; indichiamo pure con A' l'altezza per cui il fluido seguita ad accompagnare il ricevitore che suppongo diversa da A altezza totale della caduta dell'acqua: avremo che la forza viva del fluido nell'ingresso Mv^2 più quella che acquista accompagnando il ricevitore $2PA'$ deve essere eguale alla forza viva consumata nel lavoro utile $2pV_1$, con più la forza viva che si è detto esser distrutta negli urti, e quella Mv'^2 che rimane all'acqua nell'egresso: cioè si avrà

$$Mv^2 + 2PA' = 2pv_1 + Mu^2 + Mv'^2$$

Di qui si deduce che l'effetto utile è $pv_1 = {}^1/_2\, Mv^2 + PA' - {}^1/_2\, M\,(u^2 + v'^2)$ ed acquisterà il suo valor massimo quando il termine negativo sia zero, vale a dire quando sarà $u = o$, $v' = o$.

176. *Maximum assoluto dell'effetto utile e condizioni per ottenerlo.* — Queste due equazioni stabiliscono le seguenti due condizioni capaci di dare il maximum assoluto dell'effetto utile — Non devono farsi urti irregolari nell'entrare il liquido entro al ricevitore — Non deve il liquido avere alcuna velocità nella direzione del moto quando esce dal ricevitore —. Converrebbe anche aggiungere ciò che non resulta dalla precedente analisi, che non si abbiano moti vorticosi nel liquido mentre stà dentro al ricevitore, e che non si disperdano forze in resistenze di sfregamento. Allorchè dunque abbiamo

$$pv_1 = {}^1/_2\, Mv^2 + PA' = P\,(a + A')$$

può dirsi che si consegue l'effetto maximum assoluto ove $v^2 = 2ga$ ed a indica l'altezza disponibile all'entrata del ricevitore. Affinchè $a + A'$ possa però rappresentare tutta l'altezza disponibile A converrebbe che anche all'egresso della gora non si avesse alcuna perdita di forza viva, e che vi si mantenesse sempre ad eguale altezza l'acqua perchè anche l'abbassamento di livello è una gran perdita di forza viva. Il come poi abbia a conseguirsi se non l'adempimento assoluto almeno quello approssimato delle due rammentate condizioni è da stabilirsi nei particolari ricevitori. Qui in generale diremo che per la prima condizione conviene

I. Che la direzione del liquido sia nel senso del moto di quel punto del ricevitore ove imbocca.

II. Che il liquido possieda la stessa velocità di quel punto stesso del ricevitore, giacchè avendo il liquido più velocità del ricevitore si ha un'urto di quello contro questo, e avendone minore l'urto è inverso, e non si riproduce nell'urto la forza viva che si estingue (174) mol-

to più che nell'acqua si generano de' moti irregolari, i quali pure (156) tendono ad estinguere la forza viva.

III. Che per altre cagioni non si produchino nel liquido movimenti in direzione differente da quella del ricevitore, e neppure risalto di acqua o spruzzi, che facendola traboccare dal ricevitore o non entrare, la renda inutile.

IV. Per la seconda condizione stabiliremo: che quanto più è lento il moto del ricevitore tanto rimarrà minore la velocità dell'acqua che l'abbandona, e che dà una forza viva perduta.

V. Siccome i ricevitori han quasi sempre moto rotatorio perciò quanto più prossima all'asse del ricevitore si fa la sortita dell'acqua tanto minore è la celerità che le rimane.

VI. Che l'acqua esca dal ricevitore in una direzione per quanto è possibile normale alla direzione del suo movimento.

VII. Che nell'escire l'acqua dal ricevitore non impedisca il moto di esso; e perda il meno possibile della sua caduta.

Degli Organi Idraulici

177. *Classazione degli organi idraulici.* — Ogni apparato o macchina idraulica è composta di diverse parti che servono: per contenere l'acqua e si chiamano vasi; per condurla e si dicono tubi o condotti; per arrestarne il moto, e si dicono saracinesche, porte, valvule, rubinetti ec. per ampliare e ristringere i recipienti, come pareti mobili, mantici, stantuffi ec; per porre in comunicazione un recipiente coll'altro come fori con bordi più o meno taglienti, e tubi addizionali atti a togliere la contrazione della vena, e canali per condur l'acqua sopra i ricevitori idraulici; pale per ricevere gli urti, ec.

178. *Vasi, o recipienti.* — Per la resistenza delle pareti alla pressione idrostatica ved. §. 10. e per quella agli urti ved. §. 153. Per la capacità oltre al sapersi che ogni metro cubo contiene 1000^k di acqua (*Intr.* 22. 23.) aggiungerò che conseguentemente un braccio cubo tiene quattro barili ed un terzo circa d'acqua. Per l'allivellamento de'vasi ved. §. 78 per il loro vuotamento § 68.

179. *Tubi e condotti.* — La perdita di lavoro data dallo sfregamento dell'acqua contro le pareti del tubo potrà calcolarsi colla formula del §. 94 avvertendo che quella dà un'altezza e convien moltiplicarla per il peso P onde avere il lavoro meccanico. Esso dunque sarà

$$0,0003425\,P\,\frac{CL}{S}\,(v^2+0,055\,v)$$

ove per la pratica può spesso trascurarsi l'ultimo termine. Nel caso che il tubo abbia forma conica, in difetto di altri resultati d'esperienza si riterrà questa formula, e C rappresenterà il contorno della sezione media S, e v la velocità d'egresso — Per le svolte vedi §. 98, e per le variazioni di sezione §. 99 colla solita osservazione della moltiplicazione per il peso P.

Circa alla resistenza del tubo per regolare la grossezza delle pareti vedi §. 14, 110.

180. *Saracinesche o Cateratte.* — La formula che ne determina la grossezza è (13)

$$a\sqrt{{}^{3}/_{2}\cdot\frac{1000\,.\,A}{R}}$$

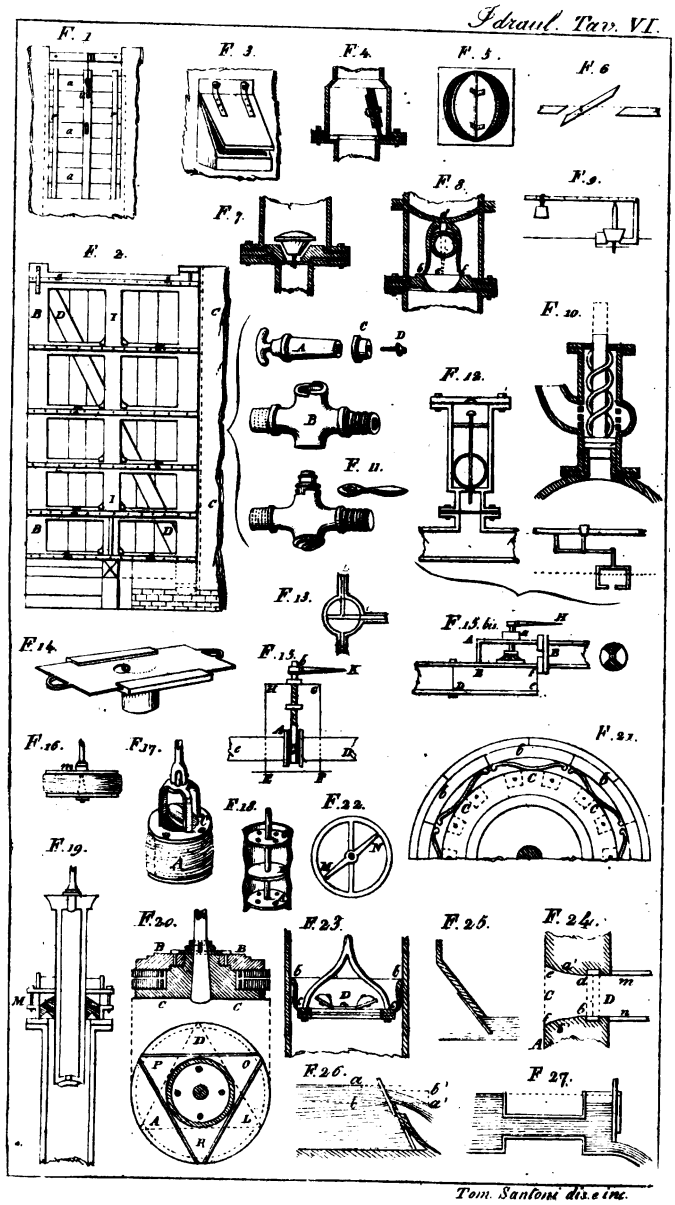
ove a, A, R sono la larghezza, l'altezza dell'acqua al di sopra del fondo, ed

il coefficiente di resistenza del legname che viene adoprato. Queste costruite in grande compongonsi di tavoloni di quercie *aaa*, (Tav. VI. fig. 1) o di altro legno resistente, uniti costa a costa ad incanalatura, e collegati da tre ritti *r, r, r* che sporgono alquanto in sul lembo superiore. La grossezza de' tavoloni si regola secondo le dottrine già qui sopra stabilite, e per lo meno di 0,^{m}07. I ritti si assicurano ai tavoloni con caviglie di ferro. Le scanalature delle soglie devono farsi un poco più larghe della grossezza de' tavoloni affinchè il movimento della cateratta si faccia con maggior facilità, e la loro profondità deve essere per lo meno 0,^{m}1. Si sollevano queste cateratte per mezzo di una fune che si attacca agli uncini *u, u* affissi al ritto di mezzo, manovrata da un albero posato sugli stipiti che si fa agire da burbera con una stanga.

181. *Porte.* — Descriverò una porta di una chiusa di uno de' sostegni del canale di Pavia, e gli arredi necessari per il suo movimento seguendo il Cavalieri nelle sue istituzioni d'Architettura idraulica. Formasi con essatura di travi, e rivestimento di tavoloni posto alla parte ove si apre la chiusa. L'ossatura è composta di cinque membri principali cioè; due ritti CC, BB (Tav. VI. fig. 2) dei quali il primo porta i cardini di rotazione, e l'altro fa da battente perchè ivi si riuniscono le due porte quando sono chiuse: due traverse, una di esse ZZ forma lo zoccolo, e la seconda SS unisce l'estremità superiori: e una diagonale DD che collega il piede del ritto cardinale CC colla sommità del ritto battente BB. Collegano i membri principali e sostengono il rivestimento di tavoloni il ritto intermedio II, e le traverse T, T, T ... I tavoloni non sono messi a semplice contatto, ma si incastrano ne' ritti, e le congiunzioni de varj membri sono assicurate per mezzo di ferramenti e altri incastri. Io non starò a descrivere tutti i dettagli che possono rilevarsi dalla figura. Siccome la estensione della porta è tanto maggiore quanto è più piccolo l'angolo della capriata, cioè che fanno fra loro le due porte, così scorgesi che anche la pressione idrostatica contro di queste scemerà al crescere di quest'angolo. Egualmente si intende che anche il peso delle porte scemerà al crescere di quest'angolo, e la forza con cui tendono a star chiuse per la pressione crescerà al crescere dell'angolo. Per tutti questi motivi quanto più grande si fa l'angolo della capriata tanto più si ha vantaggio. Ma non può farsi maggiore di un retto, poichè altrimenti un'urto che si comunichi normalmente ad una porta e non all'altra potrebbe dare una resultante che esca fuori dell'angolo, e perciò potrebbe sconnetterle col chiuderne una ed aprire l'altra. Nelle chiuse dei canali navigabili si fanno porte piane ad angolo, ma nelle chiuse di straordinaria grandezza che potessero occorrere nei porti di mare, si avrà aumento di stabilità con usare porte curve purchè si usino per la curva non legni di pezzi, congiunti, ma curvi naturalmente.

All'oggetto di avere un modo di aprire le porte quando il fluido è livellato alle due parti, si pone un trave orizzontale unito alla porta e che sporga fuori del ritto cardinale quanto occorre perchè agendovi come su leva di primo genere si possa far girare sù cardini la porta.

182. *Portelli, e animella.* — Nelle



Tom. Santoni dis. e inc.

porte si fanno per livellare l'acqua alle due parti dei portelli. Come pure spesso in luogo delle precedenti chiusure volendo che si apra il canale per effetto della corrente superiore con più facilità si fa un portello unito ad una apertura rettangolare con gli stipidi verticali alquanto inclinati all'orizzonte, ed imperniato con gangheri alla parte superiore onde si chiuda per il proprio peso. La soglia alla parte inferiore conviene che sia alquanto elevata sul piano del condotto, onde le materie che si depositano ivi non siano d'impaccio all'apertura del portello (Tav. VI. fig. 3).

Si fanno anche valvule a sportello con una cerniera sopra un lato lasciando l'egresso dell'acqua da una sola parte. Invece di cerniera si usa di farla aprire colla flessibilità di un cuojo come mostra la fig. 4. Tal valvula si dice animella ed è una di quelle che dà minore impedimento all'acqua.

183. *Valvule a sportelli, ed a disco.* — Si usano per i tubi le valvule a due sportelli che portano una cerniera lungo il diametro del tubo, ed hanno il vantaggio di mandare (Tav. VI. fig. 5) repartita l'acqua ai due lati opposti.

Tra le valvule a disco devesi riportare quella imaginata dal Belidor fig. 6, che bene eseguita ha solidità, e ristringe il meno possibile l'apertura. Componesi di un diaframma circolare mobile sù due perni, il cui asse non passa per il centro, e ne è lontano la dodicesima parte del diametro. I due segmenti di questa valvula hanno gli orli augnati in direzione opposta, sicchè quando è chiusa l'orlo del maggior segmento si appoggia d'alto in basso sull'orlo del foro, e quello del minore si appoggia di basso in alto esattamente sull'orlo del contrapposto foro.

184. *Valvule coniche.*— Più usata di ogni altra è questa valvula che alzandosi dal piano a guisa di giretto tenuto in guida da un'asse manda il getto uniformemente tutto all'intorno (Tav. VI. fig. 7). Le traverse che han da tenere in guida gli assi sono impedimenti, ed è pure impedimento il circolo maggiore superiore della valvula, ed il minore inferiore. Sempre l'acqua passa per uno spazio anulare, e talvolta la valvula aderisce in tal modo alle pareti del foro che si rende difficile la sua azione. Suolesi porre il diametro del circolo inferiore della valvula eguale a quello del tubo sottoposto; come tra questo diametro, quello del circolo superiore, e quello del tubo superiore il rapporto 3: 4: 5. Si dà di grossezza alla valvula un quarto del suo maggior diametro. Tali valvule non si userebbero nelle trombe al tubo di cacciata, e solo a quello d'aspirazione perchè in questo si comporta più un'aumento di velocità.

185. *Valvula a palla.* — Si usano ora spesso delle palle metalliche che si appoggiano col loro peso in un incavo sferico che serve di imboccatura al foro. In queste si ha il vantaggio di una massima semplicità, e di non usare nessuna aggiunta verso il foro di assi o traverse per tenerle in posto. Occorre però di frenarne il moto con una muserolà *befd* di cuojo. La forma permette col rivoltolamento la mutazione di contatto. Il troppo peso potrebbe essere una forza nociva se non si facessero vuote (Tav. VI. fig. 8).

186. *Valvula idraulica.* — Così chiamasi la chiusura che si ottiene coll'immergere la estremità di un tubo sotto il livello di un liquido:

questo modo di chiusura può solo usarsi per i gaz a bassa tensione.

187. *Valvula di sicurezza.* — Non solo nelle macchine a vapore, ma anche in quelle idrauliche, come sarebbe la pressa idraulica, occorre fare uso della valvula di sicurezza. Questa determina il limite fino al quale han da essere cimentate le pareti del recipiente, e con il suo aprirsi quando è oltrepassato quel limite impedisce la di lui rottura, lasciando libero l'egresso al fluido. Suppongasi che la valvula sia caricata di un peso di 10^k e che il foro che essa chiude abbia il diametro di 6^{mm}. La sezione del foro sarà 28, 28 millimetri quadrati, e perciò dovrà il fluido interno superare $0^k,355$ di pressione per ogni millimetro quadrato, acciocchè si apra la valvula. E se la resistenza delle pareti supera $35^k,5$ per ogni centimetro quadrato, non avrà luogo la rottura; nè potrà la pressione interna del fluido sorpassare questo limite, il quale è stato determinato col fissare il peso de' 10^k che gravita la valvula. Di qui si scorge, come si debba regolare questo peso a seconda della resistenza delle pareti. Chiamato P il peso in kil. che carica la valvula, r il raggio del foro in centimetri, ed R la resistenza in kil. delle pareti del recipiente per ogni centimetro quadrato dovremo avere

$$R > \frac{P}{\pi r^2} \text{ e perciò } P < \pi r^2 R$$

Anche la grandezza di tali valvule deve determinarsi col calcolo, sia per le macchine a vapore che per altri apparati, giacchè se si producesse nel recipiente o vi entrasse in un secondo maggior quantità di fluido di quella che può escire dalla valvula essa non ne impedirebbe la rottura, e se si tenesse troppo grande eccessive perdite di fluido per quella accaderebbero; e sarebbe enorme il peso da usarsi per caricarla. Nelle caldaje a vapore in pratica si ritiene che la minima area dell'apertura della valvula di sicurezza esser deva un millesimo della superficie dell'acqua esposta al fuoco. Per scemare il peso occorrente invece di caricarlo direttamente sulla valvula si fa uso di una leva di secondo genere (Tav. VI. fig. 9). E perchè si possa usare in assai grande apertura, e ne sia sicura la sua azione fu imaginata questa ingegnosissima disposizione. Alla parete superiore del recipiente per es. della caldaja a vapore; adattasi una leva in bilico sostenuta verso il mezzo da un pernio, ai due estremi della quale stanno unite con aste inflessibili due valvule, una che si apre dall'interno all'esterno e che possiam dire valvula di sicurezza, l'altra che apresi dall'esterno all'interno, e diremo valvula di contrappeso. La valvula di sicurezza deve avere il diametro più grande dell'altra, o maggiore braccio di leva. Allora il fluido interno, sebbene mentre chiude la valvula di contrappeso difficulta l'apertura della valvula di sicurezza, pure con maggior momento sforzando la valvula di sicurezza produrrà l'apertura di ambedue.

La valvula a molla (Tav. VI. fig. 10) si usa per valvula di sicurezza quando non vuolsi tener conto della resistenza che presenta all'aprirsi, quando si vuole una buona chiusura, e non preme una pronta comunicazione siccome si ottiene col mezzo delle valvule suddette.

188. *Teoria per le valvule, e per le cannelle con chiave, o rubinetti.* — Per tutte le precedenti specie di valvule si ha da usare la teoria delle strozzature dei tubi cioè detta 1: 1

la riduzione della luce del tubo il lavoro perduto per l'esistenza della valvula sarà (99)

$$P\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{i}-1\right)^2$$

La differenza che esiste fra le valvule e le cannelle con chiave, che adotterò di chiamare rubinetti, si è che quelle devono aprirsi da per loro cioè senza meccanismo immediato, e dalla forza del fluido ambiente, ed i rubinetti, o chiavi da fontane si aprono con una leva alla quale e applicata la forza motrice dell'uomo o del meccanismo. Hanno le valvule bisogno di esser ben lavorate onde combaci con precisione il lor piano con il bordo sul quale appoggiano, e se entra qualche immondezza tra il bordo ed il piano cessano di funzionare: vero è però che il più delle volte non avendo la valvula ben chiusa si forma un regresso di acqua il quale spazza le immondezze e fa che la valvula torni a chiudere. Si richiede nella valvula 1. che la sua apertura sia la maggiore possibile, 2. che essa lasci l'apertura il più possibile libera quando la comunicazione deve essere stabilita, e che la chiuda esattamente allorchè deve essere interrotta la comunicazione, 3. che sia disposta in modo da non permettere frapposizione di corpi estranei, 4. che sia solida, e facilmente si tenga in buono stato, 5. che senza danneggiare il suo chiudimento si faciliti il più possibile l'aprirsi.

189. *Rubinetto, o chiave da fontana.* — Un maschio A (Tav. VI. fig. II.) tornito leggermente a cono, entra in un ben adattato incavo della canna B; un foro rettangolare attraversa il maschio, che fa seguito all'apertura della canna quando è posto in conveniente direzione entro l'incavo; quando però si gira il maschio con direzione, che faccia angolo retto con quella di prima, rimane chiusa dalla sua parte solida l'apertura della canna. All'estremità del maschio si pone una riparella C tenuta da una vite D che impedisce che esso esca dal posto e lo richiama ad accostare maggiormente. Verso la testa del maschio si pone un piroletto che per mezzo dell'incavo fatto alla cresta della canna determina la di lui gita. Talvolta volendo che si apra solo con apposita chiave, si munisce quella testa di adattato incavo o rilievo, come mostra la figura.

190. *Rubinetto, e valvule a molla.* — Si muniscono tanto i rubinetti quanto le valvule a molla, sebbene in quest'ultime si abbia la chiusura prodotta dal proprio peso. Nei rubinetti è utile il mettere una molla trattandosi di fonti pubbliche, ove sia scarsità d'acqua, e vogliasi che non si abbia il getto continuato ma solo all'occorrenza di dovere attingere l'acqua. Allora premendo la leva del rubinetto si sforza la molla, esso viene aperto se ne trae l'acqua, e quindi rilasciata la leva, gira per effetto della molla e si chiude il rubinetto. Meglio sarà usare una valvula quando si vuole dar poca gita alla leva.

191. *Rubinetti, e valvule galleggianti.* — Come anche volendosi che un recipiente sia aperto ogni qualvolta contiene dell'aria, e sia chiuso quando è pieno di acqua (110) si possono usare dei rubinetti e delle valvule guidate da un galleggiante (Tav. VI. fig. 12). Mi sembra che la sola ispezione della figura serva a farle conoscere.

192. *Rubinetti per dare acqua in più direzioni.* — Vogliasi che una

chiave dia acqua a piacimento o nella direzione rettilinea A B (Tav. VI. fig. 13) del condotto, o nella direzione angolare A C si farà un foro come suole praticarsi ordinariamente nella direzione del diametro del maschio per modo che quando la sua leva (per fissar l'idee) ha la direzione del condotto rettilineo metta in comunicazione il tronco A D, coll'altro A B. Si farà pure un'altro foro obliquo nel maschio che messa la sua leva ad angolo retto col condotto D B faccia comunicare il tronco D A coll'altro A C. Ho detto che tra un foro e l'altro deve correre un quarto di giro del maschio perchè se la di lui superficie non presenta un buon tratto senza fori che chiuda combaciando esattamente colla femmina, si avrà sempre il gemicar dell'acqua anche quando non si vuole.

192. *Rubinetti a bolla*. — Ingegnosa è la costruzione di tali rubinetti che permettono di trapassare una certa quantità di liquido in un recipiente senza aprirlo per alcun intervallo di tempo. Essa consiste nell'avere il foro del maschio non passante da parte a parte: l'incavo di questo foro serve da ricettacolo per trapassare nel recipiente quella quantità di liquido di cui sia stato ripieno. Si empie questo ricettacolo quando è volto alla parte esterna, e quando ha fatto mezzo giro il maschio, è portato il liquido nel recipiente. Simile è a questo congegno la ruota che usano ne' conventi e nelle carceri per trapassarvi gli oggetti anche voluminosi dalla parte esterna senza lasciare alcuna apertura.

193. *Rubinetto a valvula*. — Questo si usa per mettere in comunicazione grandi condotti. Se ne fanno dei semplici, i quali consistono in una lastra forata che scorrendo in adattata cassa a incastro (Tav. VI. fig. 14) porta davanti al condotto l'apertura. Dovendosi adoprare per un condotto A *e c* D (Tav. VI. fig. 15) ad acqua perenne si raccomanda la valvula *c* ad un fusto A che può a vite alzarsi ed abbassarsi mediante la leva *b k*. Il collo del fusto passa per un foro stoppato fatto nella cassa G H F E, e la valvula può essere portata ad aderire dalla pressione idrostatica al bordo del condotto che deve chiudere.

194. *Rubinetti a farfalla, e a disco rotante*. — Una scatola chiusa A B C D (Tav. VI. fig. 15) divisa in due capacità da un diaframma E *f* è messa in comunicazione coi due condotti A, D fra i quali si vuole aprire, e chiudere un foro. La leva I H fa girare l'asse *a* all'estremità del quale è un piano circolare che combacia col diaframma: questo ha due fori sopra un diametro, e il diaframma è intagliato in due settori: quindi se al girare della leva si fa il diametro de' fori combinare con quello de' settori intagliati si ha stabilita la comunicazione, e si ha tolta se stanno questi diametri ad angolo retto.

I rubinetti che si usano nelle officine del gas ove il fluido ha poca pressione riduconsi ad una piastra circolare ben lavorata che porta fori di diversa larghezza, e girata sopra il suo asse apre o chiude il condotto.

195. *Teoria dello Stantuffo*. — Un solido in forma di cilindro non molto alto, il quale può scorrere lungo le pareti di un recipiente circolare combaciando più o meno esattamente colle pareti di esso vien chiamato stantuffo, o gotto. Esso ha per oggetto di aumentare, o di diminuire la capacità di quel recipiente, e suole essere

circondato da sostanza cedevole ed elastica perchè sia facilitato il suo combaciamento col recipiente, ed il suo moto. Pure un'attrito si produce tra la superficie convessa di esso, e quella interna del recipiente, il quale valutasi dalla pressione moltiplicata pella superficie trattandosi di corpi elastici e di liquidi. Per calcolarlo, chiameremo r il raggio, e l'altezza, $p\ p'$ la pressione che si fa dal liquido alla parte superiore e da quella inferiore, f il coefficiente d'attrito tra la materia dello stantuffo, e del recipiente, ed avremo la formula $2\pi r e f(p-p)$. Perciò $2\pi r e f(p-p')v$ sarà il lavoro dello sfregamento dello stantuffo contro il corpo di tromba. Io suppongo che lo stantuffo vada il più agile possibile, perchè se stringesse troppo nel recipiente sarebbe la pressione anche maggiore di $p-p'$.

196. *Diversi modi di fare gli stantuffi.* — Il più delle volte volendosi un buon stantuffo si salda al suo asse un disco metallico m (Tav. VI. fig. 16), si prosegue l'asse con verme di vite, e vi si infilano dei cerchi di cuojo un poco più grandi del disco, e tanti che formino l'altezza da darsi allo stantuffo. Un'altro disco metallico connesso ad un cono pur metallico si infila nel medesimo asse, e col mezzo di un dado a vite esso pressa i cuoi, mentre il cono gli spinge infuori. Si torniscono i cuoi del diametro del recipiente, e quando fossero dall'uso alquanto consumati si fan rigonfiare stringendo di più il dado della vite, e insinuando maggiormente tra i cuoi il cono del secondo disco metallico. Alcune volte per maggior semplicità si trascura quel cono, ed anche se ne fanno de' semplici con un cilindro di legno fasciato da un cuojo. Spesso stoppati sono molti stantuffi, e anche quei che si usan per le piccole macchine a vapore.

Quelli chiusi diconsi stantuffi ciechi; quando vuolsi che abbiano una apertura lungo il loro asse conviene che sieno muniti di un'anima solida A di maggior diametro dell'asse o candela (Tav VI. fig. 17) alla quale stà unito lo stantuffo munito di staffe. Lungo l'anima esiste un foro e questo può chiudersi dalla valvula c.

Ho veduto descritto anche uno stantuffo formato (Tav. VI. fig. 18) di tre cerchi A, B, C, equidistanti o fissati all'asse medesimo, i due estremi A, C sono sparsi di fori e quello del mezzo è del tutto solido. Un cuojo ricopre tutti e tre i cerchi: fissatovi ben a contatto con la loro circonferenza, viene questo gonfiato dall'acqua che passa nell'interno dai fori, e aderisce alle pareti del tubo ove muovesi lo stantuffo senza produrvi eccessiva pressione.

197. *Stantuffi metallici.* — Si usano anche degli stantuffi del tutto metallici: alcuni allora invece di farli combaciare con la parete interna (Tav. VI. fig. 19) del recipiente fanno il fregamento soltanto in un collare M. Questi hanno maggior lunghezza e producono l'effetto coll'insinuarsi per maggiore o minor parte della loro lunghezza entro il recipiente.

Nelle macchine a vapore si usano stantuffi metallici composti dalla soprapposizione di più cerchi di ferro leggermente compressi che formano degli ovalii i quali pochissimo differiscono dal circolo. Essi agendo come molle, possono colla compressione riprendere la forma circolare. Questi ovalii vengono disposti l'uno sull'altro in modo che i diversi assi maggiori non sieno sopraposti ma dividano in parti eguali la circonferenza.

Anche nei corpi di tromba cilindrati con diligenza a tornio si adoprano stantuffi di metallo, e descriverò i seguenti come molto ingegnosi nella loro composizione. Intorno ad un nocciolo centrale e cilindrico sono tre segmenti di circolo A, D, L (Tav. VI. fig. 20) disposti in modo da formare un' intera circonferenza. Negli spazj angolari che rimangono fra quelli introduconsi cunei o pezzi triangolari P, O, R che finiscono di empire l'anello del circolo, e sono spinti dal centro alla circonferenza per mezzo di molle spirali. Si hanno due di tali anelli o strati sopraposti per modo che le fessure del superiore corrispondano alle parti piene dell'inferiore. Due dischi BB, CC posti l'una al di sopra dell'altro al di sotto tengono i pezzi al loro luogo.

La fig. 21 presenta la pianta di un' altro stantuffo metallico di pezzi circolari *b* spinti da molle *c*, rivestiti da simili pezzi di maggior diametro che si alternano le fessure. Anche qui due dischi tengono uniti i vari strati di pezzi circolari.

198. *Delle pareti mobili*. — Lo stantuffo è il più bell'esempio delle pareti mobili, ed il più usato modo per aumentare o ristringere le capacità. Alquanto diverso è il principio adottato nello stantuffo metallico (Tav. VI. fig. 19) poichè ivi si toglie da una capacità, o vi si pone altro corpo estraneo, anzichè rimuovere alcuna delle sue pareti. L'apparato a canocchiale, cioè di tubi che vadano a fregamento l'uno entro l'altro può essere egualmente usato per variare le capacità. Nelle capacità cilindriche è molto utile il metodo di far girare una ventola M, N (Tav. VI. fig. 22), imperniata sull'asse del cilindro che ne chiuda tutta una sezione per aggrandire la capacità di un settore e ristringere quella dell'altro.

199. *Dei mantici ed altri consimili congegni*. — Sebbene poco usati in idraulica, e più nella pneumatologia, pure non credo dover trascurare di rammentare come si può col mezzo di mantici supplire all'ufizio degli stantuffi. Già ho rammentato il mantice idrostatico (9). Qui dirò che volendosi far giocare uno stantuffo senza attrito potrà un disco D (Tav. VI. fig. 23) più stretto del corpo di tromba collegarsi con esattezza colla sua periferia ad un girello di cuojo *e c*, che abbia l'altro bordo nella sezione *b b* attaccato alla parete del corpo di tromba. Volendosi una piccola ampliazione del recipiente serve il solo cedimento che può fare un cuojo o una membrana di vessica che ne formi una parete circolare. Recentemente Carlo Whecler con molto vantaggio nella costruzione delle trombe ha usato questo principio moltiplicando l'effetto coll'aumentare il numero de' dischi anulari di cuojo connettendoli insieme due a due con le periferie esterne e alternativamente con quelle interne.

200. *Delle pale*. — È questo un organo idraulico spessissimo usato, e per quanto abbia nella sua più rozza costruzione la forma di una semplice tavola pure, onde bene agisca, ha bisogno di diversa forma a seconda degli usi che se ne vuol fare. Quindi son da rammentarsi

I. Le pale che han da ricevere l'azione del peso dell'acqua come in alcune ruote idrauliche, ed allora deve la pala presentare all'acqua affluente la forma più adattata per evitare con essa ogni urto: cioè deve essere di tal curvatura che mentre

al suo principio si presenta tangente alla direzione del moto dell'acqua al suo fine arresti la velocità dell'acqua. Tutte le curve posson godere di questa proprietà perchè perde la velocità l'acqua ogni qual volta è costretta a salire sulla pala. È da preferirsi la curva circolare, e ne vedremo un'esempio nella ruota idraulica a pale curve di Poncelet.

II. Le pale che ricevono l'urto vogliono esser concave o munite di ribordi (155. VI), e devono presentarsi in direzione normale alla vena fluida.

III. Quelle che hanno ad entrare nell'acqua si fanno spesso di lamiera, o almeno assai taglienti, e si dirigono entro all'acqua con la direzione stessa che ha la pala. Egualmente il moto ha da seguire la direzione della pala quando voglionsi levare dall'acqua. Altrimenti nel primo caso la resistenza dell'acqua, e nel secondo la pressione atmosferica darebbero effetti nocivi. La difficoltà che presenta il dar questo movimento alla pala ha fatto nascere l'uso delle pale sparse di fori per levare le arene o altre materie dai fiumi che sono ingombri di acqua, e dei panieri e delle mestole forate per adacquare levando acqua da un recipiente più basso del campo.

IV. Le pale che hanno a prendere le acque devono godere della proprietà delle precedenti, di essere cioè taglienti quando entrano sott'acqua, e di potersi ivi girare presentando all'acqua una cassetta nell'atto di esser levate fuori. Quindi soglion farsi come quella cassetta che si ottiene dal togliere una faccia ad un prisma triangolare.

V. In ultimo porrò quelle pale che come i remi han da sostenere l'azione della resistenza delle acque. Queste si hanno a tuffare nell'acqua per taglio, e ne devono egualmente per taglio escire, mentre han da progredire sott'acqua per piano. Una superficie elicoide adempie a queste condizioni.

201. *Bocche che danno acqua alle macchine.* — Ad ottenere i resultati indicati (122) nei canali da opifici, anzichè studiarsi in dare all'imboccatura del canale la forma della vena contratta, che difficilmente determinerebbesi con precisione, meglio gioverà mettere le sponde del condotto sul prolungamento delle facce del recipiente. Si può anche stabilire l'orifizio o la cateratta al di sotto della faccia interna del recipiente CA (Tav. VI. fig. 24), e alla distanza CD eguale ad una volta e mezzo la sua larghezza orizzontale ab. Si porrà $ef = {}^4/_5\, ab$, e quindi si tracceranno degli archi fb, ae, che rimangano tangenti alle pareti bn, am, del canale nei punti a, b. Il disopra di $aefb$ deve essere libero, onde si eviti ivi la contrazione della vena, e si abbia anche nel passaggio da ab piccola perdita di forza viva per essere in ef piccolissima velocità. Si farà come una tromba aggiunta della forma $aefb$ quando sia la parete AC sottile. Che se potrà porsi una parete ae, ovvero fb nel prolungamento di una gran parete del recipiente, tanto meglio sarà. Quando la cateratta sia inclinata, la tromba $abfe$ resterà coperta dal taglio della parete (Tav. VI. fig. 25) e formerà come una bocca o *buse* inclinata. Ed allora nel calcolo della portata dovrà misurarsi la luce in una sezione normale al fondo del condotto.

Con tali precauzioni può ritenersi che non si abbia contrazione che alla parte superiore dell'orifizio, e che detta A la distanza verticale del suo

centro dal livello sia $\sqrt{2gA}$ la celerità. Allora il coefficiente della portata per carichi da $0^m,80$ a 3^m si riterrà $0^m,70$ se la cateratta sia verticale, e $0^m,75$ se quella sia inclinata ad uno di base per due d'altezza, e $0^m,80$ se l'inclinazione porti uno d'altezza per uno di base. Nel caso della cateratta inclinata per evitare che la scanalatura incontri le pareti curve del condotto si faranno in alto più solleciti i punti di tangenza $a'b'$.

Essendo la bocca munita di canale scoperto, ed inclinato, dietro l'esperienze di Bossut e quelle recenti di Poncelet e Lesbros il condotto non esercita influenza notabile sulla portata purchè il carico sul centro non sia più piccolo di

$0^m,5$ a $0^m,6$ per orif. alti da		$0^m,20$ a $0^m,15$
0,3 a 0,41	*id.*	0,10
0,2	*id.*	0,05 o meno

In generale per avere la celerità dell'acqua verso l'origine del canale, può stabilirsi per regola pratica di moltiplicare la celerità dovuta al carico sul centro per 0,65. Ed essendo il condotto corto ed inclinato come si usa per dare acqua alle ruote idrauliche si avrà la celerità dell'acqua all'estremità del canale sommando l'altezza dovuta alla celerità come sopra calcolata e la pendenza totale del canale, e considerando questa somma di altezze come l'altezza dovuta alla celerità cercata.

202. *Serbatoj muniti di diversivi.* Alcune volte si usano i diversivi per dare acqua alle macchine, ma più spesso per esaurire l'acqua che eccede nel serbatojo, e di questi ho parlato, e qui dico che nella pratica la loro portata può valutarsi colla formula

$$Q = 0,405\, LA \sqrt{2gA}$$

ove Q è il volume dell'acqua in metri cubi L è la larghezza del diversivo, ed A l'altezza ab (Tav. VI. fig. 26) del livello generale del serbatojo al di sopra della cateratta. Se però il canale d'arrivo dell'acqua fosse della stessa larghezza del diversivo dovrà il coefficiente ridursi 0,420, e quando non fosse permesso di avere la misura di A, ma solo quella $A' = a'b'$ cioè della lama d'acqua che passa sulla cateratta, converrà porre $A = 1,178\, A'$ se la larghezza del diversivo non supera $^4/_5$ di quella del serbatojo, ovvero $A = 1,25\, A'$ se sono queste due larghezze eguali.

Allorquando il diversivo è munito di canale rettangolare varia assai il coefficiente della formula sopra scritta secondo che cambia il carico sul suo fondo, così quando questo carico è $0^m,21$ il coefficiente si trova 0,32, e quando il carico è ridotto a $0^m,03$ il coefficiente prende il valore 0,227.

203. *Perdita di caduta proveniente dall'uso dei serbatoj secondarj.* — Si usano dei canali o al di sopra o al di sotto del terreno (Tav. VI. fig. 27), che portano l'acqua dal serbatojo principale al serbatojo secondario il quale rimane immediatamente prossimo al ricevitore idraulico. Questa disposizione produce sempre una differenza tra i livelli de' due serbatoj, o una perdita di caduta, la quale consiglia a non adottarla che nei casi di vero bisogno. Ed anche in questi si può minorare la perdita aumentando l'area della sezione del canale, diminuendo la sua lunghezza, e rendendo maggiore l'area del serbatojo secondario. Infatti indicando con A, A' l'altezze dell'acqua nell'uno e nell'altro serbatojo, con m, m' i coefficienti di efflusso per l'origine del condotto, e per la cateratta del serbatojo secondario, con B, B' le aree dei due ser-

batoj, con C il perimetro bagnato del condotto, e con L la sua lunghezza, avremo

$$A-A'=\frac{m'B'^1}{B^2}\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)^2+1+0,007\frac{C}{B}L\right]A'$$

204. *Del serbatojo, e del canale.* — La gora di arrivo chiamata bottaccio o serbatojo, è regolata in dimensioni dalla località e dall' economia. La maggior dimensione non nuoce alle condizioni idrauliche, ma l'area della sua sezione trasversale non si farà meno di dieci o dodici volte più grande di quella dell' orifizio, altrimenti quando si dà acqua seguirà subito un notabile sbassamento. Se l'acqua sarà perenne non occorrerà abbondare troppo nelle dimensioni della gora onde non siamo costretti per le resistenze ed immondezze del fondo a perdere altezza di acqua. Sempre dovrà il meccanico aver di mira di conservare l'acqua alla maggiore altezza possibile. Sebbene non possa stabilirsi alcuna regola generale, anche per il canale che stà dopo la cateratta, essendo facile offendere nelle particolarità de' casi il detto principio, pure suol convenirli $^1/_{12}$ o $^1/_{15}$ di pendenza quando è cortissimo come si procurerà che sia. La cateratta se è possibile si inclina per le ruote idrauliche ad uno di base sopra uno o due d'altezza (201). Quando si fanno orifizj a diversivo si collocano immediatamente sopra la ruota; cioè senza canale. Nelle diverse forme della ruota occorrono particolari costruzioni che indicheremo parlando di quelle.

Per le esperienze di Dubuat, Telford, e Nimmo il limite massimo cui può giungere la velocità dell' acqua presso il fondo del canale senza alterarlo, varia come appresso per le diverse qualità di materie che compongono il canale.

Terre stemperate o loto.	*Vel.* $0^m,076$
Argilla bianca da stoviglie .	0,081
Argille tenere	0,152
Ghiaja grossa un mezzo pisello	0,108
„ un pisello al più	0,189
Sabbie	0,305
Ghiaja grossa come piccola fava	0,325
Sassi di $0^m,027$ in diametro .	0,650
Ciottoli come uovo da gallina	0,944
Ciot. agglomerati, schisti teneri	1,520
Rocce a strati	1.830
Rocce dure	3,050

CAPITOLO IX.

Dei Ricevitori Idraulici.

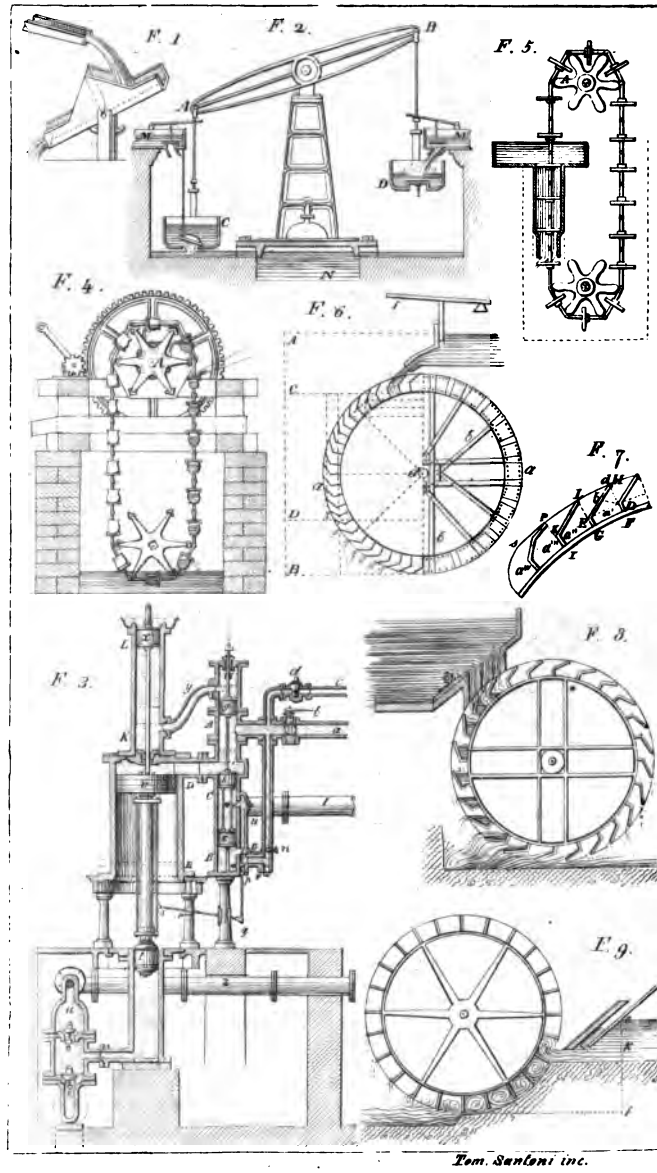
205. *Divisione generale.* — I principali ricevitori sono le ruote idrauliche, ed anche queste agiscono con differenti principj. Per classare i ricevitori parlerò in primo luogo di quelli che agiscono col solo peso dell' acqua, in secondo luogo di quelli che agiscono col peso e coll' urto, in terzo luogo di quelli che agiscono coll'urto. Perciò, trascurando nella prima serie di trattare della fontana di Herone, di cui ho altrove mostrato l' applicazione fatta nelle miniere di Schemnitz (47), li dividerò in ricevitori a moto alternativo, ricevitori a catena continua, ruote verticali, ruote orizzontali, macchine a reazione.

Dei ricevitori a moto alternativo.

206. *Bilancia idraulica.* — La bi-

lancia idraulica, nella più semplice composizione è indicata dalla fig. 1 Tav. VII. L'altra della fig. 2 consiste in un bilanciere AB al quale sono attaccate due secchie C, D. Un condotto dà l'acqua per un' orifizio prima ad un secchio C, il quale pieno discende al basso, e muove verso questa parte l'estremo del bilanciere dal quale pende; di poi chiuso il primo orifizio, per altro consimile riempiesi la seconda secchia D. Frattanto si è vuotata la prima, e questa monta discendendo la seconda, ed acquista moto alternativo rotatorio il bilanciere, che dal suo asse può esser comunicato alla macchina da mettersi in azione. Il modo col quale si aprono e si chiudono le valvule alimentarie, è reso ben manifesto dalla ispezione della figura, come anche il modo col quale si aprono o si chiudono le altre valvule che danno egresso all'acqua delle secchie. Così l'acqua passa a poco alla volta dal condotto superiore M all'inferiore N, e comunica tutto il suo lavoro meccanico all'albero del bilanciere giusta la dottrina della manovella a doppio effetto (*Mecc.* 287). Che se non esistesse il vizio di simile trasmissione di moto sarebbe questa macchina molto pregevole, e mi sembra che convenga usarla particolarmente in quei casi ove vuolsi comunicare un moto alternativo: come sarebbe per orologi, per trombe, ec. Offre infatti un bell'esempio di trasformazione del moto rettilineo continuo in moto circolare alternativo, è notabile per la solidità, e pei pochi attriti che presenta il meccanismo. Quando volesse ridursi il moto dell'asse a moto rotatorio continuo mi sembrerebbe convenientissimo il meccanismo che abbiam descritto e che suol chiamarsi leva della Garusse (251), ma sempre gli mancherà il pregio dell'uniformità di moto. Per quello che si è detto del lavoro meccanico della manovella si può dedurre quanto sia il lavoro meccanico che si comunica da questa macchina, ma io non mi trattengo su ciò perchè la mancanza di uniformità di moto fa conoscere una perdita per gli urti che scema il pregio della macchina. Molti altri bilancieri idraulici si sono imaginati da diversi autori, ma che io sappia non ve ne ha alcuno che presenti vantaggi come organo ricevitore nelle applicazioni.

207. *Macchina a colonna d'acqua.* — Questa macchina è un ricevitore di forza che pure agisce colla pressione del fluido, ed è molto usata nell'Alemagna, solo però ove si ha una caduta d'acqua da grandissima altezza e poco abbondante. Quella che io descriverò è stata costrutta da Reichenbach per le miniere di sale di Bergtergaden in Baviera. ed ha per oggetto di comunicare un moto alternativo allo stantuffo (Tav. VII. fig. 3) *t*, che appartiene alla tromba aspirante e premente *uz*, e questa è destinata a sollevar l'acqua salata dalle miniere. Sempre in qualunque costruzione la macchina a colonna d'acqua dà un movimento alternativo: ed ecco come in quella di Reichenbach. L'acqua motrice con carico soprastante di 116^{m} entra per il tubo *a* regolata dal rubinetto *b*, agisce in senso opposto sù due stantuffi *h*, *g* che sono collegati per mezzo di un'asse; lo stantuffo *h* avendo diametro maggiore di quello *g*, viene a risentire più l'effetto e tira in basso anche quello *g*, e l'altro *k* che è egualmente collegato. Questo moto è limitato dall'estremità dell'asse comune ai tre stantuffi *g*, *h*, *k* che appoggia con-



Tom. Santoni inc.

tro il fondo del corpo di tromba AB. Allora lo stantuffo h si sarà abbassato al di sotto del condotto traverso CD, per cui l'acqua motrice passa nella tromba DE e sopra allo stantuffo principale v, il quale trovato alto lo abbassa, e con esso abbassa pure gli altri due stantuffi t x collegati invariabilmente con quello. Lungo l'asse dello stantuffo t sonovi due verghe una delle quali è scanalata fino ad un certo punto e riceve nella scanalatura l'estremo s della leva srq. Onde mentre si abbassa lo stantuffo v il limite della scanalatura sforza l'estremità s, e gira la leva attorno al perno v sollevando l'altro estremo q. Questo porta con una verga due piccoli stantuffi pm che agiscono in un terzo corpo di tromba FG più piccolo degli altri due. Venendo essi sollevati nella posizione che mostra la figura al luogo non punteggiato (per ripassare poi alla posizione punteggiata) rimane aperto un'adito all'acqua motrice per il condotto HI nel corpo di tromba AB sotto lo stantuffo h. Premuto questo dall'acqua verso l'alto si solleva, e solleva pure gli altri due h,g. Quello h caccia l'acqua che aveva sopra a se per il condotto y nel corpo di tromba KL sotto lo stantuffo x, e lo spinge in alto, e così viene risollevato anche lo stantuffo principale v, e quello t. Essendo l'acqua che rimaneva sopra allo stantuffo v, e quella sotto l'altro t cacciata da un foro che è nella tromba AB pel condotto e, si rinnuova il giuoco abbassandosi dopo lo stantuffo h l'altro v, con nuovo efflusso di acqua dal condotto a, e quindi tornando a sollevarsi per l'effetto della leva srq prima lo stantuffo h, e dopo quello v colla perdita dell'acqua per il canale e; e così di seguito. Il rubinetto d è ad aria; sta chiuso quando la macchina è in azione, e si apre quando vuolsi arrestare l'azione. Allora chiuso l'ingresso all'acqua per il rubinetto b e per quello n, si fa sgorgare quell'acqua che vi era dentro pel condotto e, e viene la macchina a riempirsi d'aria per il condotto c. Gli assi degli stantuffi che vanno all'esterno dei corpi di tromba passano per collari bene stoppati.

Questa macchina è certamente una delle più ingegnose che possieda la meccanica. È messa in movimento da una caduta di 116^m, che dà per ogni secondo $0,^{mc}018$ di acqua. Per far discendere gli stantuffi x, v, t si dispensa un volume di acqua eguale alla capacità del corpo di tromba DE, che è 428 litri. Per cangiare la direzione del moto si dispensa un volume di acqua eguale alla capacità del corpo di tromba dove agisce lo stantuffo t che è 15 litri. E finalmente per far salire gli stantuffi x, v, t si dispensa un volume d'acqua eguale alla capacità del corpo di tromba KL che è 67 litri. Onde per un doppio colpo di stantuffo si ha il consumo di 510 litri d'acqua scesi da 116^m cioè un lavoro motore di

$$510^k \times 116^m = 59160^{km}.$$

Il lavoro utile consiste in 67 litri di acqua salata che pesa 80^k inalzati a 378^m cioè in 30240^{km}. Perciò la macchina a colonna di acqua ora descritta dà per effetto utile E

$$\frac{E}{PA} = \frac{30240}{59160} = 0,51$$

cioè più della metà del lavoro motore P. A. Le altre macchine a colonne d'acqua che si conoscono composte alquanto diversamente non danno che 0,46 del lavoro motore.

Per mostrare qui come la teoria può predire il resultato sperimentale di una macchina idraulica convien tro-

vare qual porzione del lavoro motore vien distrutta dallo sfregamento degli stantuffi dalla resistenza dell' acqua entro i tubi, dagli strozzamenti o contrazioni che hanno luogo presso i rubinetti, e alle mutazioni dei diametri dei tubi, e dalle piegature o svolte. E non curo la perdita di lavoro data dalle resistenze incontrate nella tromba che eleva l' acqua salata perchè questa non forma parte della macchina a colonna, sebbene sia tal perdita inclusa nel resultato sperimentale sopra riportato.

Cominciamo dall' applicare la formula (195) $2\pi revf\ (p-p')$ allo stantuffo principale. Per questo si ha

$$r = 0,^{m}36 \quad e = 0^{m},224 \quad f = 0,23$$
$$p - p' = 116^{m} \times 1000$$

perchè la pressione si fa da una parte sola, v è la corsa dello stantuffo cioè $0^{m},8$; cioè il lavoro che consuma è 10820^{km}. Per lo stantuffo x starà il consumo del lavoro a quello ottenuto nel rapporto in cui varia per i due stantuffi il prodotto re cioè $::0^{m},36 \times 0^{m},224 : 0^{m},14 \times 0^{m}16 :: 1 : 0,28$ cioè sarà 3030^{km}. Lo stesso si dica per i due stantuffi i, h che sono eguali, cioè $::0^{m}36 \times 0^{m}224 : 0^{m}11 \times 0^{m}16 :: 1 : 0,217$ e in tutti e due si ha per lavoro consumato 4698^{km}. L'ultimo stantuffo della macchina è g, e per quello si avrà $::0^{m}36 \times 0^{m}224 : 0^{m},10 \times 0^{m},11 :: 1 : 0,154$ vale a dire 1666. Tutti gli stantuffi consumeranno adunque un lavoro di 20214^{km}.

Per la resistenza data dal tubo applicheremo la formula

$$0,00137 \frac{L}{D} (v^{2} + 0,055\, v) P$$

e per il caso nostro sia

$$D = 0^{m},4 \quad P = 510^{k} \quad L = 116^{m}$$

perchè trascuro in confronto del tubo che dà il carico quelli che trovansi nella macchina. Si abbia una gita dello stantuffo principale in ogni secondo, onde la velocità di questo stantuffo, sarà la sua corsa $0,^{m}8$. Da questa può dedursi la velocità v dell' acqua nel tubo per la proporzione dei diametri $v : 0^{m},8 :: 0,72 : 0^{m},40$, cioè avremo $v = 1,58$. Ed il lavoro perduto diverrà

$$0,00137 . \frac{116}{0,40} \left((1,19)^{2} + 0,055 \times 1,19 \right) 510$$
$$= 390^{km}$$

il quale si sarebbe trovato molto più grande se si fosse supposto il tubo di minor diametro.

Per le contrazioni che si fanno presso i rubinetti, e nelle variazioni di diametro, terremo conto delle seguenti che sono le principali, usando la formula (99)

$$\frac{Pv^{2}}{2g} \left(\frac{1}{l} - 1 \right)^{2}$$

Dal serbatojo l' acqua entra nel tubo, e detto 0,78 il coefficiente di contrazione, sarà la velocità

$$v = \frac{0^{m},8\ (0,72)^{2}}{(0,40)^{2}} = 2,56$$

ed avremo

$$0,051 . 510\ (2,56)^{2}\ (^{1}/_{0,78} - 1)^{2} = 3,25$$

Di queste contrazioni ne possiamo contare altre quattro o cinque, una all' attraversare il rubinetto b, l' altre quattro nel passaggio per i due tubi traversi. Onde porremo un' altra perdita di 15^{km}. Dal tubo che ha il diametro $0^{m},4$ va ad escire per un altro che ha il diametro $0^{m},2$ avremo per perdita di lavoro

$$0,051 . 510\ (2,56)^{2} (4 - 1)^{2} = 1533^{km}.$$

In tutto si ha 1549^{km} circa.

Finalmente sonovi le svolte delle quali se ne contano cinque ad angolo retto. Queste sebbene sieno fatte con acqua a diversa velocità per approssimazione supporrò a tutte la velocità di 4^{m}, ove usando la formula (98)

$$3 \frac{v^{2}}{2g} sen^{2}\, i$$

si ha una perdita di lavoro di 3121^{km}.

La somma pertanto di tutte le resistenze determinate col calcolo sarà $20214 + 500 + 1549 + 3121 = 25185^{km}$. Resultato che non molto può discordare da quello che assegna l'esperienza, giacchè si è accennato essere 28920^{km} compresa anche la resistenza della tromba che solleva l'acqua salsa. Quindi per calcolo la macchina a colonna d'acqua di Reichemback restituisce 0,57 del lavoro motore, non presa la resistenza della macchina produttrice. Io non ho tenuto conto dell'altezza che occupa l'acqua nella macchina, la quale sta a diminuire quella della caduta, e sarebbe valutabile quando si trattasse di cadute non molto grandi, e renderebbe poco utile l'uso di questa macchina.

Dei ricevitori a catena continua.

208. *Catena a cassette.* — Le catene a cassette (Tav. VII, fig. 4 alluderò a questa sebbene sia disegnata come vedremo anche per altro oggetto) consiste in una ruota A, o due ruote esagone che hanno i loro assi sulla medesima verticale, l'una è collocata all'altezza del livello superiore, e l'altra nel borgonajo inferiore: sopra a queste ruote passa una catena senza fine le di cui maglie lunghe quanto il lato dell'esagono, portano ciascuna una cassetta o secchia: un getto d'acqua meno largo della cassetta riempie una dopo l'altra le diverse cassette, mentre queste ripiene per il peso dell'acqua si abbassano, e vanno a votarsi alla fine della discesa: gira così la catena senza fine, e comunica il suo moto all'albero motore della ruota A. Ben comprendesi che l'acqua cade nelle cassette con la celerità acquistata, la quale è ben difficile che sia quella stessa della catena, onde vi sarà un urto ed una perdita di forza viva nell'ingresso dell'acqua (175): inoltre il piccolo diametro della ruota A fa che il peso dell'acqua agisca con piccolo momento statico per vincere le resistenze, e si perda molta forza motrice. Facilmente prendono moto d'oscillazione le cassette e vuotano molt'acqua per via. Se va con molta velocità la discesa delle secchie rimane perduta una notabil parte di lavoro meccanico (175). A vantaggio di questa macchina può notarsi che il peso dell'acqua agisce sempre normalmente al raggio della ruota, e si presta bene per le scarse sorgenti di acqua che hanno molta caduta, ed ove la località è ristretta. Anche la perdita della caduta è ben poca in questa macchina giacchè le cassette si vuotano solo quando giungono al fine della discesa. È da procurarsi che la velocità della catena sia di un metro, ed eguale a quella dell'acqua che arriva.

209. *Catena a cappelletti.* — Nelle catene a cappelletti, le due ruote sono rimpiazzate da due stelle a scheletro, e le cassette (Tav. VII fig. 5 accenno questa, sebbene per alcune particolarità si veda disposta ad altro oggetto) da dischi di legno ricoperti di un cuojo che han maggior diametro. La catena senza fine dopo aver traversato la gora o serbatojo dell'acqua passa in un tubo di un diametro sulle prime assai comodo per cui vi è facile l'ingresso ed i cuoi possono distendervisi; verso la parte inferiore è il tubo più stretto, onde i cuoi si incurvino a guisa di tazza, e fregando le pareti ritengano bene l'acqua che lor gravita sopra. Questa così obbliga i cappelletti a discendere, e la catena e l'asse A a girare. La quantità del lavoro è misurata dal prodotto della celerità del

la catena nel peso della colonna d'acqua che è al di sopra dell'ultimo cappelletto nel tubo fino al livello del serbatojo. Con poca differenza per il piccolo attrito dell'asse può dirsi tutta trasmessa alla macchina. Ha questo ricevitore sul precedente la superiorità di non soffrire versamento nelle tazze per l'oscillazione della catena, e di ricevere l'acqua dal serbatojo più facilmente senza urto. Del resto tanto per la macchina precedente come per questa è facile dedurre la teoria da quella che daremo per le ruote a cassette colla differenzo di tenere a calcolo nella prima il versamento delle secchie, e nella seconda l'attrito dei cappelletti col tubo di carico.

Ruote Idrauliche verticali.

210. *Ruote verticali.* — Chiamansi ruote verticali quelle che tenendo orizzontale il loro asse girano in un piano verticale, e si classano secondo la figura della parte che riceve l'azione dell'acqua motrice, in ruote a cassette, e in ruote a pale. Le une o possono ricever l'acqua alla sommità, o al di sotto della sommità, o di fianco; le altre possono avere le pale piane o curve, agire in un condotto circolare, o rettilineo, o in mezzo ad una corrente indefinita.

Ruote a cassette.

211. *Ruote a cassette che ricevono l'acqua alla sommità.* — Le ruote a cassette sono il più spesso di legno, e se ne fanno anche di ferro fuso. Un canale *c* (Tav. VII. fig. 6) porta l'acqua che si farà fluire o no, adoprando la leva *f*. Quando la leva è inalzatata apre la cateratta, e l'acqua scorre sulla ruota riempiendo le cassette, e comincia dalla terza dopo la sommità. Queste a mano a mano piene, si abbassano per il loro peso, e dan moto alla ruota.

I pezzi principali di una ruota a cassette sono 1.° l'albero girevole co' suoi orecchioni *d*; 2.° la sua corona e le sue cassette *a a*: 3.° i suoi bracci *b*. L'albero si fa di quercia di un sol pezzo, e la sua riquadratura varia da 0^m6 a 0^m8. Alle sue estremità rotondeggiate sono cerchi di ferro che serrano gli assi, o orecchioni, i quali si fanno generalmente di ferro fuso, e girano sù guancialetti pure di ferro fuso o di bronzo. Il diametro dell'orecchione secondo Tredgold deve essere eguale al prodotto in kil. della radice quadrata del peso della ruota che deve sopportare per 0^m002; e la lunghezza dell'orecchione deve essere cinque sesti del suo diametro. I bracci molte volte non attraversano l'albero per non indebolirlo, e piuttosto lo abbracciano, e vengono disposti alternati se pongonsi doppi. Nel modo più moderno si pongono i bracci diretti come tanti raggi terminati al di sopra dell'asse, e si legano alla corona con staffe di ferro, ed all'asse per mezzo di anelli di ferro fuso. La corona è formata di due piani paralleli in guisa di anello composti con tavole grosse tra 6 e 8 centimetri spesso raddoppiate sulla faccia esterna con tavole grosse la metà delle prime. La larghezza della corona o profondità delle cassette può fissarsi 0^m3 sebbene in caso di poca acqua meglio converrà tenerla minore. Alcune tavole trasversali di 3 a 4 centimetri formano il fondo della corona. Fra i due piani con incastri si pongono le palmette che compiono e separano le cassette; le lor forme sono (Tav. VII. fig. 7) a', a^{iv} a^{v}, a^{vi}, le ultime si fanno di lamiera, e son reputate

migliori. Fra il diametro della ruota e il numero delle cassette passa un certo rapporto: se ne mettono 9 per ogni metro di diametro riducendo il numero che così si otterrebbe, scemandolo o accrescendolo in modo che sia divisibile per 4. Vale a dire si fanno della larghezza di circa 35 centimetri e in numero multiplo di quattro. La forma a' della cassetta che è molto semplice, dà

$$EG = {}^1/_5\, Fd \qquad dH = 0^m,03$$

porta l'angolo E sul raggio dinamico, sù quello che segna presso a poco la distanza del centro di gravità dell'acqua contenuta nelle cassette dal centro della ruota; essa richiede HEG il meno aperto onde più tardi si versi l'acqua, purchè sia Db notabilmente più della grossezza della lama d'acqua cadente e almeno $0^m,11$. Onde sarà l'angolo HEG tra 110° e 118° secondochè le ruote hanno da 4^m a 12^m di diametro. Nella forma a'' delle cassette spesso usata si ha $IK = {}^1/_5\, IP$ si trova il bordo L sul prolungamento di GE. Facendo la palmetta a'' con tre tavolette, l'acqua è ritenuta più lungamente, ma si ha una costruzione difficile, e che malamente permette di esser risarcita. La forma a''' ove la parete curva ha l'estremità s quasi tangente alla circonferenza può sodisfare alla condizione di mantenere molto l'acqua, e di facilitare il restauro coll'uso della lamiera, ma cede alla prima nella facilità del ricever l'acqua.

La larghezza delle cassette, o della ruota si determina col volume di acqua che si ha. Sia Q la portata in $1''$, d la distanza tra una cassétta e l'altra presa sulla circonferenza esterna, e v' la velocità dei punti di questa circonferenza. In ogni $1''$ passeranno

$$\frac{v'}{d} \text{ cassette, e } Q\,\frac{d}{v'}$$

sarà il volume di acqua che entra in ogni cassetta. Sia S la sezione trasversale della cassetta presa nella posizione in cui riceve l'acqua, ed l la sola larghezza che cerchiamo di determinare. Siccome la capacità della cassetta deve essere almeno tripla del volume dell'acqua che essa riceve, onde non risalti di fuori, avremo

$$Sl = 3\,\frac{Qd}{v'}$$

Rappresentato con N il numero dei giri che fa la ruota in un minuto, con M il numero delle cassette della ruota, e con D il diametro di essa, avremo

$$d = \frac{\pi D}{M},\ v' = \frac{\pi DN}{60},\ \text{ed } l = 180\,\frac{Q}{MNS}$$

Secondo la forma a' della cassetta si ha

$$S = 0^{mm}072,\ M = \frac{\pi D}{0,34},\ \text{ed } l = 270\,\frac{Q}{ND}$$

212. *Lavoro meccanico che si imprime alla ruota.* — Il lavoro totale della corrente è P.A, essendo P il peso dell'acqua che passa, ed A la distanza tra il livello del serbatojo o gora d'arrivo, e il livello del borgonajo o gora di rifiuto. Noi possiamo ritenere che non segua diminuzione nel fattore P, cioè che tutta l'acqua entri nella ruota, e che solo diminuisca il fattore A. Quando si saran comprese tutte le diminuzioni che si fanno in quest'altezza noi avremo ritrovato il lavoro che si comunica alla ruota dalla corrente. E per comprendere per quali e quante cagioni può diminuire l'altezza A cominciamo dal distinguere questa in tre parti; AC distanza del livello del serbatojo dal punto ove l'acqua incontra la ruota, CD distanza di questo punto da quello ove le cassette cominciano a versare l'acqua, detta anche altezza di carico, e BD distanza del punto ove cominciano a versare le cassette dal livello del borgonajo.

Nella seconda porzione, o altezza di carico, non si ha alcuna perdita, perchè ogni massa elementare di acqua (si intende divisa la corona di acqua in strati) che si ritrova in quella porzione di cerchio può comprendersi che si concentri nel suo centro di gravità ed ivi agisca col suo peso; come agirebbe la forza sulla manovella, a semplice effetto che avesse per gomito il raggio dinamico. Noi parlando di tal manovella si stabilì, che il lavoro comunicato era la forza moltiplicata per la proiezione dell'arco che ha percorso il suo punto d'applicazione sul diametro parallello alla direzione della forza. Dunque il peso di quella massa elementare moltiplicato per CD, darà il lavoro che essa comunica alla ruota, e perciò sommando le azioni elementari, il peso di tutta l'acqua che si trova nell'arco di carico moltiplicato per questa altezza CD sarà il lavoro totale, che è tutto quello teorico che poteva provenire dalla corrente nell'altezza di carico, cioè $P \times CD$.

Al di sopra dell'arco del carico d'acqua, nell'altezza AC che indicherò con a, si fanno delle perdite notabili. Queste dividonsi nelle perdite che si fanno nell'egresso del liquido, ed in quelle che han luogo nell'incontro della ruota. Nell'egresso del liquido la velocità V con cui l'acqua cade sulla ruota sarà minore di quella dovuta all'altezza AC: 1.° per la contrazione che subisce la lama fluida all'apertura del recipiente: 2.° per la resistenza che l'acqua incontra nelle pareti del condotto: 3.° perchè la dispersione di alcuni filetti fluidi fa loro scemare la velocità: 4.° per la direzione obliqua colla quale giunge l'acqua sulle cassette. La diminuzione di quest'altezza AC fatta da tutte queste cause riunite verrà da noi indicata con μa ed il valore di μ può ascendere anche a 0,3. Nell'incontro della ruota, movendosi questa colla velocità v si ha subito la perdita $0{,}051\, v^2$ perchè rimane quella velocità nell'acqua e non dà lavoro; ed essendo V differente da v si ha per l'urto che accade l'altra perdita $0{,}051\, (V - v)^2$. Per scemare massimamente tali perdite dovrebbe divenire un minimum la quantità

$$0{,}051 \left[v^2 + (V - v)^2 \right]$$

cioè dovrebbe essere $v = {}^1/_2\, V$, e perciò ridursi l'altezza della velocità v ad un quarto di quella di V. Potrà però bene nei casi particolari rimanere anche meno di un quarto, e preso anche un quarto dei sette decimi che restavano dell'altezza AC si hanno circa due decimi, i quali aggiunti ai tre già perduti, si ha per lo meno in tutto la perdita della metà di quest'altezza. Questa anche nelle buone ordinarie disposizioni riducesi a 0,33. Onde può stabilirsi che in tali ruote idrauliche due terzi circa son perduti dell'altezza compresa tra il livello del serbatojo, e il punto ove il fluido incontra la ruota; e si ha per lavoro perduto ${}^2/_3\, P a$. Ne vien dunque la regola pratica di rendere questa distanza più piccola che sia possibile, ed intanto indicando con a' a'' le altezze dovute alle velocità v, $V - v$, la perdita di altezza è $\mu a + a' + a''$

Nell'arco BD di versamento si ha continua diminuzione della quantità d'acqua per cui può dirsi per la prima porzione che si versa è perduto molto dell'altezza DB, e per le porzioni che si versano in seguito, ne è perduta quantità sempre minore. Giunta la cassetta ad un certo punto in cui rimanga orizzontale la sua parte più esterna, siccome il liquido (astrazion fatta dalla forza centrifuga)

prende una superficie orizzontale, sarà totalmente quello versato. Da quel punto in giù è perduta in totalità l'altezza, che io indicherò con b. Nel tratto superiore del vero versamento che dirò b' può supporsi che l'acqua sia escita dalla ruota uniformemente, ed allora si dirà che si è perduto dell' altezza anche $^1/_2\, b'$. In tutto dell'altezza che è posta al di sotto di quella di carico, che è $b+b'$, rimane solo $^1/_2\, b'$.

Anche di questa porzione $^1/_2\, b'$ però si fa una perdita a cagione della forza centrifuga che l'acqua acquista girando colla ruota, ed anche nelle grandi velocità potrà aversi una perdita maggiore sebbene si dia alle cassette una capacità tripla di quella che occorre a ricevere l'acqua che vi cade. La perdita d'altezza si fa anche per questa cagione diversa nelle differenti porzioni d' acqua, ma noi possiam prendere una media ed indicarla con b'', onde chiamando a'' la perdita d'altezza dovuta a queste ultime cagioni, avremo

$$BD = b + b' \qquad a'' = {}^1/_2\, b' + b + b''$$

L' espressione pertanto che ci da il lavoro meccanico comunicato alla ruota, e che deve da noi esser confrontata coi dati dell' esperienza sarà $P(A - \mu a - a' - a'' - a'')$ Da questa vedesi che quanto minori sono le quantità μ, a, a', a'', a'' tanto meglio agisce la ruota. Le tre quantità $\mu a, a' a''$ scemano allo scemare di a, e prese insieme equivalgono a $^2/_5\, a$; e tranne i casi straordinarj potrebbe dimostrarsi che a'' espressa in frazione del diametro della ruota non varia che da $^1/_7 D$ a $^1/_5 D$, e perciò l'effetto utile sarà

$$E = nP(A - \mu a - a' - a'' - a'')$$
$$= n\,1000 \cdot Q(A - {}^2/_5\, a - {}^1/_6\, D)$$

a prima vista sembrerebbe che questa formula non mostrasse l'utile che si ha dall' usare nella ruota il più gran diametro compatibile colla caduta, ma dobbiamo ricordare che essa è stabilita nel supposto che si sia usato alla ruota il più gran diametro, e perciò deve la formula ritenere come implicita questa supposizione.

213. *Disposizione della ruota da preferirsi.* — Non sarà possibile fare la distanza del livello del condotto dal punto ove l'acqua tocca la ruota, cioè $a < 0^m6$, e perciò si avrà almeno $\mu a = 0^m12$ accordando due decimi per le resistenze μ nell'egresso. L'altezza della velocità d'egresso rimarrà 0^m48 onde preso un quarto di questa per quella che conviene alla velocità della ruota, si ha $v = 1{,}554$ per la velocità sotto la quale la ruota darà il più grand' effetto. Se diminuiscesi di più questa velocità si avrebbe una perdita, e non è perciò giusta l'idea invalsa che quanto più lento è il moto della ruota tanto più sia grande il suo effetto.

L'altezza dell'arco carico d'acqua deve essere il più possibile. E tanto questo elemento influisce sull'effetto delle ruote a cassette, che quando una tale altezza non soffra notabile alterazione può secondo l'esperienze di Smeaton aumentarsi la celerità della ruota fino a $2^m{,}50$ ed anche di più.

Convien dare alla ruota tutta l'altezza o diametro che può comportare la caduta, e per conseguenza la caduta sorpasserà il diametro di una piccola quantità.

Fissata la differenza fra la caduta e il diametro, cioè fissato il valore di a tanto più si avrà vantaggio, quanto maggiormente a' a'' si avvicinano all'eguaglianza come rilevasi dalla condizione che sia un minimo la espressione

$$0{,}051\left[v^2 + (V - v)^2\right]$$

Questa condizione sarà tanto più sodisfatta, quanto la celerità della ruota sarà più vicina alla metà di quella che ha il fluido allorchè giunge sulle cassette.

Deducendo l'effetto reale da quello teorico può porsi

$$E = P(A - 0^m4 - {}^1/_6 D)$$

e poichè poco sarà D minore di A potremo porre quest'altezza in luogo del diametro, e trascurare 0^m4. Allora abbiamo $E = {}^5/_6 PA$.

214. *Rapporto tra il lavoro motore, e l'effetto utile ottenuto da questa ruota.* — Il modo per dedur questo rapporto può esser l'uso del freno di Prony (*Mecc.* 86) ritenendolo non con un peso ma con un dinamometro. Certamente può dirsi che questo rapporto è più grande di quello che passa tra l'altezza dell'arco carico d'acqua, e l'altezza della caduta, giacchè qualche effetto si ha sempre anche dagli archi che sono di sopra e di sotto a quello. Nella maggior parte de' casi l'altezza dell'arco carico d'acqua eguaglia i cinque sesti del diametro meno due o tre decimetri. Si trova d'ordinario l'effetto determinato dalla formula

$$E = 0{,}90\,P\left(A - \frac{2}{6}\,a - \frac{1}{3}\,D\right)$$

L'esperienze di Smeaton mostrarono che quando la caduta sorpassava di poco il diametro si aveva $E = 0{,}72PA$; il diametro della ruota era però molto piccolo e di $0^m{,}61$. L'esperienze di D'Aubnissons eseguite sopra una ruota di $11^m{,}57$ di diam. han dato $E = 0{,}76\,PA$ ed egli crede piuttosto piccolo questo valore del coefficiente. Morin non ha ritrovato egual differenza secondo i diametri delle ruote, ed una che aveva 3^m42 li diede tra $0{,}71\,PA$, e $0{,}80\,PA$ mentre un'altra ruota che aveva il diametro di 2^m28 li diede per termine medio $0{,}81\,PA$, ed il coefficiente variava nelle diverse esperienze da 0,71 a 0,90. Per le osservazioni fatte da Egen sovra molte ruote dovrebbe ritenersi per le buone ruote a cassette il coefficiente tra 0,75 e 0,80.

215. *Ruote a cassette di grandissimo diametro.* — I più bei resultati si dovrebbero ottenere dalle ruote di grandissimo diametro perchè in queste la perdita che si fa al di sopra dell'arco caricato di acqua è piccola a confronto del diametro, e quella che si fa al di sotto di quell'arco è proporzionale al diametro. Per evitare questa potrebbe ricorrersi a qualche altro meccanismo differente dalle ruote idrauliche come sarebbe la macchina a catena di cappelletti (209) o la macchina a catena di tazze (208) o a ruote con cassette imperniate in bilancia, delle quali parleremo come macchine atte ad elevar l'acqua. Nelle ruote a cassette di grandissimo diametro si usano alcune differenze nella costruzione; in quelle in cui il diametro non è eccessivo si fa l'asse o albero girante di ferro fuso vuoto nell'interno in forma di un prisma a sei ovvero otto piani, e spesso rigonfiato nel mezzo. Il diametro di questo dipende dalla lunghezza che li si ha da dare, e dal peso che deve sostenere, indicando con λ questa lunghezza e con π quel peso, secondo Tredgold si farà all'esterno

$$= 0^m{,}0148\sqrt[4]{\pi\,\lambda^5}$$

ed all'interno per tre quarti di questo valore. Quindi con anelli pure di ferro si connetteranno a quest'albero i raggi di legno che han da sostenere la corona della ruota. Quando il diametro è molto grande si fanno anche i raggi di ferro, e le corone. In tal caso alla corona stessa

si usa un'ingranamento che comunica il moto ad una ruota dentata, e questa per mezzo del suo asse lo trasmette all'officina.

216. *Ruote a cassette con grande altezza d'acqua sulla sommità* — Tali ruote differiscono dalle precedenti non solo per questa grande altezza d'acqua, che rimane tra il livello della gora, e il punto ove l'acqua incontra la ruota, ma anche per il modo d'azione dell'acqua essendo qui più l'effetto per l'urto che per il peso dell'acqua. Ha differenze rilevanti anche la forma della ruota giacchè non suole il diametro arrivare a tre metri, e le cassette son formate da sole tavole piane fissate tra le due corone, ed hanno una capacità ben più grande delle altre. Tali ruote si usano per lavori ad intermittenze come per mandare dei magli. Nel tempo che il maglio non agisce togliesi l'acqua alla ruota, allora si inalza per il perenne afflusso dell'acqua il livello nel serbatojo; lo che permette di potere nell'atto dell'azione disporre di maggior copia di acqua di quella che affluisce. Una gran piramide quadrangolare di legno con il suo vertice spuntato e volto in basso a poca distanza dalla ruota comunica alla parte inferiore del serbatojo, ed è piena di acqua. Chiusa al vertice da una lastra di metallo che può scorrere in adattati incastri, viene per mezzo di una leva aperta dal fabbricante nell'atto che ha da agire il maglio. In quell'atto cade l'acqua sulla ruota che acquista fin dalle prime un moto assai celere, e può la sua velocità essere anche di cinque metri. L'acqua andando con impeto risalta dalla ruota e molta ne esce, se non si ha attorno alla ruota stessa, al di sotto del punto ove urta l'acqua, un rivestimento circolare di tavole, che produce ottimo effetto.

Non sorprenderà dopo di aver notate queste particolarità di tal ruota l'intendere che i principj teorici stabiliti per la ruota a cassette non sono ad essa applicabili; e neppure sorprenderà che l'Egen abbia ritrovato che il rapporto tra il lavoro motore ed il loro effetto è da 0,37 a 0,57. Questo però conferma tuttociò che si è detto sulla convenienza di diminuire per quanto è possibile la distanza tra il livello dell'acqua nel serbatojo, e il punto ove l'acqua raggiunge la ruota, e nel diminuire l'urto tra l'acqua e la ruota.

217. *Ruote a cassette che ricevono l'acqua al di sotto della sommità.* — Ricevono l'acqua queste ruote per fianco guidata da una bocca o condotto che ve la porta col meno possibile di urto contro la ruota. Tra i vantaggi di queste ruote suole noverarsi che, ricevendo esse l'acqua sulla parte della ruota che rimane volta al luogo da cui proviene l'acqua motrice, acquista la ruota nella sua parte inferiore movimento nella direzione stessa in cui ha da sfuggire l'acqua dalla gora sottoposta, e perciò men facile è che per effetto dell'acqua sfuggente senta ritardo. Una tal disposizione potrebbe darsi però anche alle ruote caricate per di sopra quando si reputasse utile; onde non parmi che abbia per questo a stabilirsi una preferenza nelle ruote delle quali sono per parlare. Vantaggio senza dubbio può dirsi il permettere tali ruote l'uso di un diametro più grande della caduta particolarmente quando la caduta è piccola come da 2^m5 a 5^m. Allora fatta la ruota di un quarto o un quinto più alta della caduta conserva meglio la forza comunicatale ed è più

facile assegnarle la velocità occorrente. A questi vantaggi vanno uniti alcuni danni e primieramente, riepilogando, il ragionamento teorico usato per le ruote che ricevono acqua alla sommità si trova convenire anche a questa, e perciò l'effetto sarà dato da $0{,}90\,P\,(A - {}^2/_3\,a - a'')$ ove a'' sarà qui più forte che nelle ruote che ricevon l'acqua per di sopra, giacchè è proporzionale al diametro della ruota. Inoltre l'urto che dà quasi sempre l'acqua contro la corona della ruota è pur cagione di perdita. Quanto più basso rapporto alla sommità è l'ingresso dell'acqua nella ruota più scema l'arco carico d'acqua e perciò l'effetto della ruota.

Una ruota di 9^m10 in diametro, larga 3^m15, con 96 cassette profonde 0^m50, tutta costruita di ferro e pesante 25000^k, riceveva l'acqua a 50° gradi dalla sommità da una apertura ottimamente disposta. La celerità della ruota era 1^m54; la caduta variava da 7^m70 a 7^m80, e la quantità dell'acqua motrice era $0^{mmm}34$ per ogni secondo: cioè si aveva un lavoro motore di 263^{km}, ovvero 55 caval-vapore. Per le esperienze di Morin fatte col freno dinamometrico, e aggiunto 161^{km} per le resistenze passive, si è ottenuto 2070^{km}: Vale a dire che tal ruota avrebbe dato 0,788 del lavoro motore. Questo resultato a giudizio di D'Aubisson può aversi per un *maximum* di tali ruote; nelle quali può solo ritenersi come termine medio $E = 0{,}70.PA$.

Ruote a pale.

218. *Ruote a pale piane cinte da condotto circolare.* — Si usano queste ruote per piccole cadute come di 2^m50, ed anche minori. Sia v la velocità all'estremità delle pale, N il numero de' giri che voglionsi in un minuto, il diametro delle ruote sarà

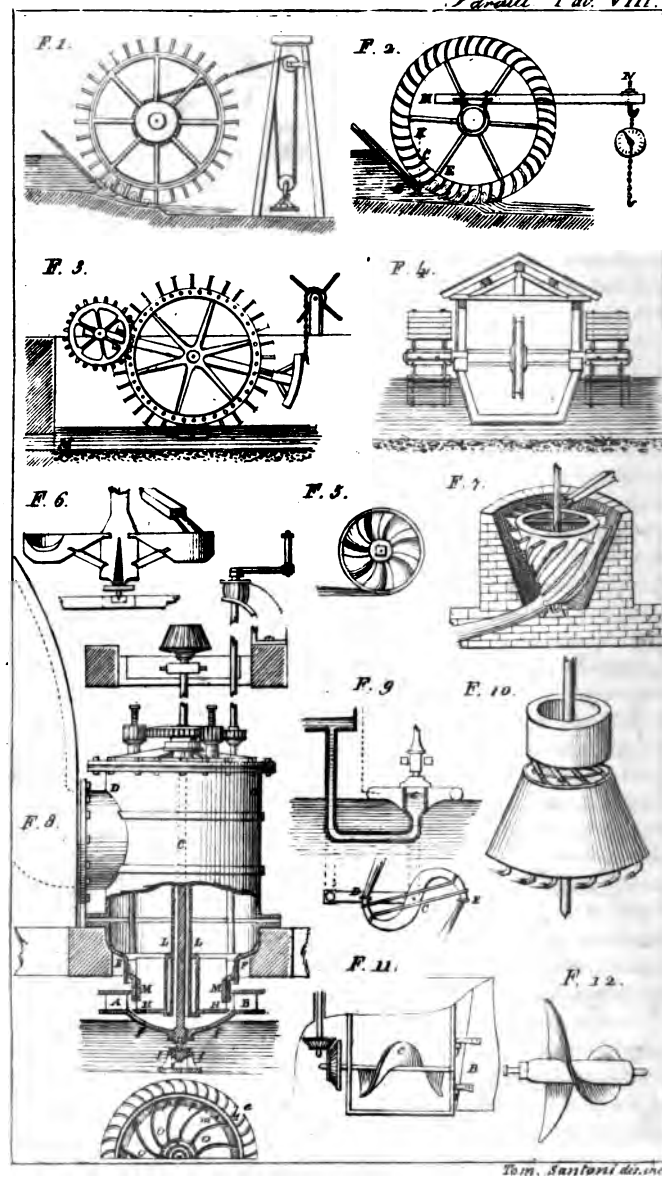
$$D = \frac{60\,.\,v}{\pi N} = 19{,}1\,\frac{v}{N}$$

in pratica non suol farsi tal diametro nè maggiore di 7^m, nè minore di 5^m. Si regola il numero delle pale in modo che sia divisibile per quattro, e che rimangano circa 6 pale per ogni metro di diametro, cioè distanti fra loro di meno di mezzo metro. L'altezza delle pale non dovrà essere meno di tre volte la grossezza della lama d'acqua nel condotto. Dovranno esser fissate nella direzione dei raggi, o anche fare con il raggio un'angolo $90 + n$ essendo n data dall'eguaglianza

$$\cos.\,n = 1 - \frac{2A}{D}$$

Un condotto circolare, che ha l'altezza della caduta, cinge sovra un lato la ruota verso l'estremità inferiore; rimane concentrico alla ruota, ed è di tali dimensioni che vi si muovon quasi con esattezza le pale. La larghezza del condotto, e della ruota han da esser tali che la caduta dell'acqua, posto che fosse libera, non dovrebbe acquistare di profondità più di 0^m2 ovvero anche $0^m{,}15$. La bocca d'acqua deve essere siccome abbiam descritto (201) per evitare la contrazione della vena, e le resistenze, e deve far giungere il liquido sulle palmette della ruota assai perpendicolare. In due modi però può prendersi l'acqua, o abbassando la cateratta in modo che venga sulla ruota come da un diversivo, o alzandola per farla venire dalla parte inferiore del serbatojo; il primo di questi è molto più utile.

219. *Teoria delle suddette ruote.* — L'acqua agisce su queste coll'urto e col proprio peso. L'urto ha luogo nella caduta, e k (Tav. VII. fig. 7)



Tom. Santoni dis. inc

dal livello del serbatojo al punto ove l'acqua comincia ad incontrare la pala. Designeremo questa altezza con a, e riterremo a' per l'altezza dovuta alla velocità v che prende la ruota, ed a'' per l'altezza dovuta alla differenza della velocità V appartenente ad a e quella v appartenente ad a'. Onde essendo il lavoro meccanico (173) dell'urto $Mk\,(V-v)\,v$, potremo anche rappresentarlo con la formula identica

$$Pk\left(\frac{V^2}{2g}-\frac{v^2}{2g}-\frac{(V-v)^2}{2g}\right)=Pk(a-a'-a'')$$

Da questa formula per le ragioni dette (212) dobbiamo sottrarre ancora l'effetto delle resistenze nell'atto dell'egresso dell'acqua, che è $P\mu a$. Scesa l'acqua per l'altezza ek (Tav. VII. fig. 9) giunge fino a tutta la caduta ef accompagnando la pala, ed essendo $kf=A-a$ avremo per il lavoro dato dal peso nell'ipotesi che non sfugga acqua tra la pala e il condotto $P(A-a)$. Ma questa ipotesi non essendo ammissibile, ed avendosi inoltre un'altra cagione di perdita nello scemare il peso della ruota in quella parte da dove prende acqua, per essere immerse le pale in questo fluido, si può ritenere che il lavoro utilizzato dall'acqua sia $nP(A-\mu a-a'-a'')$, ove n rappresenta un coefficiente differente da quello k dell'urto, e da determinarsi coll'esperienza. Osservato poi che $\mu a+a'+a''$ eccede sempre $^1/_2\,a$, ed e presso a poco $^2/_3\,a$, l'equazione dell'effetto utile può esprimersi

$$E=nP(A-{}^2/_3\,a)=0{,}75P(A-0{,}7\,a)$$

giacchè se noi stiamo alle esperienze fatte da Morin col freno dinamometrico sovra una ruota di perfettissima costruzione, il valor medio di n sarebbe 0,772. Nell'uso che può farsi nella pratica di questa formula deve aversi riguardo allo stato in cui si ritrova la macchina, e corrispondentemente variare questo coefficiente. Chiaramente appare da quella formula che quanto minore si fa a tanto è maggiore l'effetto, e perciò converrà dar l'acqua alla ruota abbassando la cateratta, e facendola passar sopra di questa e non di sotto come ho (218) dianzi osservato (Tav. VI. fig. 26).

220. *Rapporto tra il lavoro motore e l'effetto utile ottenuto da questa ruota.* — Le ora citate esperienze di Morin darebbero 0,717 per il cercato rapporto. Il D'Aubuisson non crede nei casi ordinari potersi ritenere più di 0,60 ovvero 0,65. La miglior costruzione richiede le pale alquanto curve, onde l'acqua possa montarvi sopra senz'urto. Può dirsi che quando sieno queste ruote eseguite con la massima cura, presentano effetti non dissimili a quelli delle ruote a cassette.

221. *Ruote a pale che ricevono l'acqua per di sotto.* — Tali ruote si compongono 1.° dell'albero, 2.° delle corone o cerchi che reggono le pale, i quali possono essere anche tre nelle ruote larghe; 3.° dei raggi che sostengono i cerchi; 4.° delle pale e tavole ad esse connesse (Tav. VIII. fig. 1) si fa uso di queste quando la caduta è minore di 1^m. L'acqua motrice vien guidata contro la ruota da un condotto, le cui pareti toccan quasi le pale, ed è regolata da una cateratta che per miglior disposizione suol porsi inclinata. Qui devon distinguersi le ruote nelle quali è urtata la sola seconda pala dopo il diametro verticale, da quelle ove sono urtate anche quattro o sei pale dopo di quello; perchè nelle prime si ha la sola azione dell'urto, mentre nelle altre vi ha anche un piccolo effetto del peso dell'acqua, e

devono queste riportarsi a quelle rammentate qui sopra. Nelle ruote, che agiscono per solo urto si osserverà che l'acqua urtando contro la pala non si rialzi fino a battere contro le tavole che sono sulla corona. E perciò si fanno le pale di lunghezza circa tre volte la grossezza della lama d'acqua scorrente, sempre però che non vengano di 0^m65. Nelle ruote che han le pale molto grandi non si pongono le tavole traverse alla corona, ma si fanno dei cerchi metallici intermedi che forando le pale servono a tenerle in posto. La distanza di una pala dall'altra misurata sulla circonferenza esterna della ruota sarà un poco minore della loro altezza. Sebbene nella pratica soglia usarsi a queste ruote un diametro da 4^m a 8^m, pure può dirsi che esso è da determinarsi, secondo la velocità che si vuole nell'asse, essendo come vedremo dal massimo effetto determinata la velocità nelle pale. Le pale procurasi qui pure che siano in numero divisibile per quattro, e si fanno un poco più fitte nelle piccole che nelle grandi ruote, per modo che una di 4^m di diametro avrà 28 pale, ed una di 8^m ne avrà 44.

222. *Teoria delle suddette ruote.*— Quando il moto è nella ruota stabilito si ha una velocità v quasi costante che deve stare in relazione con la velocità V dell'acqua che affluisce. Il lavoro meccanico della pressione idraulica sarà (173) $Mk(V-v)\,v$ sulle successive pale urtate. Si vede che tanto per $v=o$, quanto per $V=v$ si avrebbe un tal lavoro distrutto; fra questi due limiti sta il valor massimo che può determinarsi ponendo nell'ipotesi di v variabile la derivata di quell'espressione eguale a zero. E si ha per il *maximum* $v=\frac{1}{2}V$; cioè una ruota a pale produce il suo più grande effetto allorchè la sua velocità è metà di quella della corrente. Allora si avrà per il massimo lavoro meccanico

$$k\frac{PV^2}{4g}=\frac{1}{2}kPa_1$$

essendo a_1 l'altezza dovuta alla velocità dell'acqua affluente. Ma si (173) trova $ka_1=A$ nella disposizione la più favorevole che possa immaginarsi, dunque il più grande effetto che possa produrre una corrente d'acqua che agisca per urto sovra una ruota a pale, non è che metà del più grande effetto di cui essa è capace.

223. *Rapporto tra il lavoro motore, e l'effetto utile che da questa ruota si è ottenuto.* — Risulta dalle esperienze di Smeaton eseguite sovra una ruota di piccolo diametro, che il più grand'effetto utile delle ruote a pale, il quale può darsi dal sollevamento del peso P, varia dal quarto al sesto del lavoro motore. L'esperienze di Bossut e di Smeaton han mostrato, che la velocità più conveniente a darsi alla circonferenza esterna della ruota è tra 0,55, e 0,50 di quella dell'acqua affluente. Il primo rapporto conviene principalmente ove è molta la celerità dell'acqua, ed il secondo ove abbonda la massa del fluido. In una ruota posta secondo il metodo antico, cioè senza fare uso della cateratta obliqua, si ha tutt'al più per rapporto tra l'effetto utile e il lavoro motore 0,299. Infatti per l'esperienze di Bossut e di Smeaton si deduce il lavoro utile di tali ruote espresso dalla formula $61.Q(V-v)v$. Ora posto $V=2v$ si ha $61.Q.\frac{1}{2}gA=0,299PA$. Realmente l'esperienza dimostra che per il *maximum* la velocità delle palmette deve essere soli $\frac{2}{5}$ di quella della corrente, ed allora l'effetto utile della ruota giunge ad $\frac{1}{3}$ del lavoro motore.

Queste ruote hanno il vantaggio di una gran semplicità, di potersi applicare dovunque, e di essere suscettive di muoversi con una gran velocità senza allontanarsi molto dal massimo effetto. Agiscono ove le masse d'acqua sono considerevoli e piccoli i declivi: avrebbero molti vantaggi se non dassero tanta perdita di forza motrice. Ora vedremo come possa questa scemarsi.

224. *Ruote a pale curve contenute in breve corsia circolare.* — Per scemare la gran perdita che si ha nelle ruote a pale piane, sonosi costruite quelle a pale inclinate sul raggio, quelle con ribordi proposte dal Morosi, e principalmente quelle a pale curve. Di queste Poncelet ha ridotta la costruzione e la teoria in modo da ottenerne effetti mirabili; perciò comunemente chiamansi ruote alla Poncelet. Il numero delle pale sarà presso che doppio di quello che si è indicato per le ruote a pale piane: sporgeranno esse fuori dalla corona della ruota per più di un quarto della caduta effettiva, per $^1/_5$ quando la caduta è 1^m40, e per $^1/_4$ quando è più piccola. Per avere la forma della pala curva, dal punto A (Tav. VIII. fig. 2) ove la superficie BA della corrente incontra la circonferenza esterna, si inalzi la verticale AK, e dal punto C ove questa taglia la circonferenza interna con il raggio CA, si descriva l'arco AE, il quale darà la forma delle pale. La distanza delle pale sarà di circa 0^m25 sulla circonferenza esterna della ruota. Per conseguenza il numero delle pale sarà il multiplo di quattro, più prossimo al quoziente che si ottiene dal dividere la circonferenza per 0^m25. Si descriverà la corsia concentrica alla ruota in breve arco circolare, e con raggio più grande di quello della ruote al più di un centimetro. Le pareti di questo tratto di corsia si eleveranno fino ad un decimetro sopra alla bocca dell'acqua. Questa bocca quando la caduta è piccola e copiosa d'acqua, deve esser larga il doppio dell'altezza, ma se inversamente la corrente è scarsa e la caduta è rilevante, la larghezza della bocca si farà tre o quattro volte l'altezza. Sempre però l'alzata della paratoja deve essere tra 0^m1 e 0^m4. Il fondo del condotto che porta l'acqua avrà l'inclinazione di un decimo circa, e rimarrà tangente alla corsia circolare. Un poco al di là del diametro verticale della ruota si abbassa con uno scalino di 0^m2 circa il canal di rifiuto, e si dilata, perchè possa scorrere l'acqua che ha agito, e lasci libera lo ruota.

225. *Teoria delle suddette ruote.* — Sia V la velocità con la quale arriva l'acqua sulle pale, e v quella che acquista la ruota, siccome entra l'acqua nella direzione della tangente alla curva non si avrà perdita per effetto di urti, e colla velocità $V - v$ entrerà l'acqua nella ruota. Quindi si inalzerà tra pala e pala fino all'altezza $0{,}051\,(V - v)^2$, ed ivi ricadendo, verrà a riacquistare la velocità $V - v$ che aveva avanti. Questa però è in senso contrario a quello nel quale muovesi la ruota; onde per avere la velocità con cui resta l'acqua, dovrà sottrarsi dalla precedente anche la velocità della ruota; e resterà colla velocità $V - 2v$. Posto dunque $v = {}^1/_2 V$ potremo dire che è l'acqua rimasta senza velocità, e si ha perciò il massimo effetto. Ambedue le condizioni per ottenere il *maximum* (176) in questa disposizione sono adempite, non si ha urto nell'ingresso nella ruota, nè resta velocità all'acqua che ha agito. L'effetto adunque della ruo-

ta, che deve eguagliare il lavoro motore meno la metà della forza viva che rimane all'acqua, sarà

$$E = PA - \frac{P}{2g}(V-2v)^2 = \frac{2P}{g}(V-v)v$$

cioè sarà l'intiero lavoro motore PA nel caso del *maximum*. Ma mentre gira la ruota, le palmette cambiano di posizione, ed è modificata la velocità che riprende l'acqua discendendo dalle palmette. Inoltre è impossibile evitare del tutto la percossa, e fare che l'acqua escita dalla ruota sia assolutamente senza moto.

226. *Rapporto tra l'effetto utile, e il lavoro motore.* — Per l'esperienze fatte da Poncelet col freno MN la velocità più utile all'esterno della ruota è 0,55 di quella V d'arrivo dell'acqua. Egli dice: per le ruote bene eseguite il rapporto dell'effetto utile al lavoro motore giungerà ben di rado al disotto di 0,60 anche per carichi d'acqua che si avvicinano ai 2^m, e potrà anche essere con apertura di cateratta da 0^m8 a 0^m12 per *maximum* 0,65.PA, e in generale

$$E = 152\,Q\,(V-v)\,v$$

Quando questi carichi saranno minori di 1^m50 con apertura di cateratta da 0^m20 a 0^m50 si avrà per *maximum* 0,75.PA, ed in generale

$$E = 153\,Q\,(V-v)\,v$$

Secondo Morin il detto rapporto sarebbe per le cadute di

2^m00 a 2^m50	0,50
1^m50 a 2^m00	0,55
1^m50 e minori.	0,60

Ma scema assai questo rapporto se la velocità della ruota si allontana da quella che si è detta la più utile. Si potrà calcolare l'effetto utile colla formula $E = nQ(V-v)v$ ove n ha i seguenti valori per le cadute di

2^m e maggiori	122,5
1^m50 a 2^m	132,5
1^m50 e minori	142,7

Quando la ruota sia in mediocre stato, il primo coefficiente 122,5 si riduce 102. Per le cadute da 0^m60 a 0^m80 l'altezza delle pale si farà da $^1/_5$ ad $^1/_2$ di quella della caduta, e per le cadute maggiori si farà quella da $^1/_4$ ad $^1/_5$ di queste.

Ruote che si muovono in un mezzo indefinito.

227. *Caso in cui le pale incassate nella corsia lasciano un vano considerevole.* — Il vano che resta tra le pale piane e la corsia, se è maggiore di 0^m04 conviene ricorrere a nuove formule per calcolare l'effetto della ruota. Determinato il volume Q dall'acqua che somministrasi dalla bocca M (Tav. VIII. fig. 5. Questa mostra una ruota che può immergersi a volontà), si calcoli la velocità V d'arrivo dell'acqua contro la ruota. Sia l la larghezza della corsia, ed a l'altezza che prende l'acqua al luogo ove incontra la ruota, avremo l'area della sezione d'acqua $alV = Q$. Colle misure della ruota determineremo fino a qual segno le pale si immergono in questa sezione. E chiamando b l'area della superficie immersa di ogni pala, potremo indicare con bV la quantità d'acqua che batte nelle pale, e perciò calcoleremo l'effetto utile della ruota colla formula $E = n\,b\,V\,(V-v)\,v$. L'esperienza ha mostrato che deve farsi $n = 76,45$. Dall'esperienze di Christian abbiamo che per il *maximum* deve essere $v = 0,4V$.

228. *Ruote pendule.* — Così chiamansi (Tav. VIII. fig. 4) quelle che agiscono in un mezzo indefinito; si usano nei mulini sui battelli ancorati in mezzo ai grandi fiumi. Il diametro di tali ruote non suol passare quattro o cinque metri. Le pale sono

ordinariamente 12, sebbene credasi più utile portarle a 18 o anche a 24. L'altezza delle pale secondo Fabre non ha da sorpassare i 0,28 del raggio della ruota, valutato fino al centro di percussione, ed ordinariamente si fanno il quinto. La larghezza varia da 2^m50 a 5^m.

Quando tali ruote sono in un fiume di gran profondità, conviene che tutta la pala rimanga sott'acqua, perchè il massimo della corrente esiste un poco al di sotto del pelo d'acqua; ma in generale può dirsi che si ha maggiore effetto essendo una porzione della pala fuori d'acqua. In queste ruote tenendosi le pale inclinate sul raggio, si ha maggiore effetto, e sembra per le esperienze di Deparcieux, e di Bossut preferibile l'inclinazione di 30° verso la parte superiore della corrente. Questa inclinazione conveniente pel caso che peschi tutta la pala, deve secondo Navier ridursi a 15° quando la ruota pesca di un terzo del raggio, limite massimo dell'immersione della ruota. Anche i riborde ne' lati delle pale, alti da 0^m05 a 0^m10, producono un notabile aumento d'effetto.

Designata con b la superficie della pala verticale che rimane sott'acqua, con V la velocità dell'acqua nel fiume, e con v quella della ruota sarà

$$\frac{1000.\,b\,V}{g} = 102.\,b\,V$$

la massa del fluido urtante, e perciò l'effetto utile della ruota sarà dato dalla formula

$$E = n.\,102.\,bV\,(V - v.)\,v$$

Il coefficiente n comprenderà la correzione dovuta all'andamento de' filetti fluidi in prossimità della ruota, e la non-pressione alla parte posteriore delle pale. Esse in seguito delle esperienze di Poncelet si può ritenere per 0,8, e perciò avremo

$$E = 82.\,bV\,(V - v)\,v.$$

Come pure che il massimo d'effetto corrisponda alla velocità della ruota 0,4 di quella della corrente. Sostituito questo valore si ha $19,68\,bV^3$ per l'effetto massimo. Fatto

$$P = 1000.\,b.\,V, \text{ e } A = 0,051.\,V^2$$

Quell'espressione si riduce $0,39\,PA$: cioè un lavoro meccanico più grande di quello che si otteneva con le ruote a pale piane contenute in una corsia rettilinea. Lo che può intendersi per la gran massa d'acqua che in questo caso si ha.

Ruote idrauliche orizzontali

229. *Ritrecini o turbini.* — Le ruote che hanno l'asse verticale, da noi vengono dette ruote a ritrecine, e dai francesi turbini, ma questa denominazione è stata adottata generalmente dopo i ritrovati di Burdin, e di Furneyron. Io le distingnerò in ruote orizzontali a pale impiantate in un cilindro, ruote a getti, e ruote con pale esterne separate dal cilindro centrale.

Ruote a pale impiantate in un cilindro

230. *Ruote a pale curve che restituiscono l'intiero lavoro motore.* — Abbiamo veduto (170) quali sono le condizioni per ottenere il *maximum* assoluto dell'effetto, ed applicate alle ruote converrà che l'acqua entri ed agisca nella ruota senz'urto, e che ne esca senza velocità. Ed ambedue queste condizioni possiamo immaginare adempite dalla curva delle pale. Una particella fluida che vada contro la pala sarà animata dalla velocità V, e da

quella — v orizzontale del punto della pala che si considera. Onde indicando con φ l'angolo che fan fra loro queste due velocità, quella resultante nella particella fluida sarà

$$\sqrt{V^2 + v^2 - 2Vv \cos \varphi}.$$

La direzione di questa dovrà esser tangente al primo elemento della curva, onde entri l'acqua sulla pala senz' urto. Agirà sulla pala il liquido senz' urto qualunque sia la curva che presenti la pala alla discesa di esso, e solo si accrescerà in quest' azione (astrazion fatta dalle resistenze) la velocità per l'altezza verticale a della pala, cioè la velocità della particella fluida quando abbia discesa la pala sarà

$$\sqrt{V^2 + v^2 - 2Vv \cos \varphi + 2ga}$$

$$= \sqrt{2gA + v^2 - 2Vv \cos \varphi}$$

Ma per la seconda condizione del massimo dell'effetto, questa velocità deve essere distrutta dalla velocità v della pala, dunque sarà ad essa eguale, e la curva avrà l'ultimo elemento orizzontale, e in direzione contraria al moto della pala. Lo che porta

$$v = \frac{gA}{V \cos \varphi}$$

Per aver l'espressione generale dell'effetto dinamico osservo che

$$v - \sqrt{2gA + v^2 - 2Vv \cos \varphi}$$

sarà sempre la velocità assoluta, che ha il liquido mentre abbandona la ruota, e che $V \cos \varphi$ è la componente orizzontale di V. Onde la massa fluida nell'incontrare la ruota perde la velocità

$$V \cos \varphi - v + \sqrt{2gA + v^2 - 2Vv \cos \varphi}$$

moltiplicata questa per la massa del fluido si ha la perdita della quantità di moto, o lo sforzo fatto dal fluido contro la ruota. Il quale moltiplicato per la velocità o spazio v, dà il lavoro meccanico, o l'effetto cioè

$$E = \frac{Pv}{g}\left[V \cos \varphi - v + \sqrt{2gA + v^2 - 2Vv \cos \varphi}\right]$$

E qui pure, sostituendo il valore di sopra assegnato per v per il massimo effetto, si tornerà ad avere $E = PA$.

Dall'esame di questa teoria sembra impossibile che non possa ottenersi in pratica qualche cosa, che con essa concordi. Forse ciò che noi ammettiamo per una sola particella fluida non può ritenersi per una massa, e le particelle che non vanno a contatto con la pala fanno colla medesima angoli diversi da quelli richiesti per teoria. Converrebbe avere esperienze eseguite con masse di acqua molto piccole, e con pale di curva molto estesa: come anche io penso che l'ultimo elemento della curva non dovesse rimanere orizzontale, ma alquanto rilevato per distruggere l'effetto della chiamata allo sbocco che ivi deve l'acqua soffrire.

251. *Ruote che agiscono entro un cilindro.* — Allorquando è piccola la caduta, e si ha gran massa di acqua, come suole esser presso i fiumi, si fa un cilindro di muramento, o di legno simile ad un tino aperto da ambedue le basi, e la ruota vi gira nell'interno concentricamente. Essa ha il diametro di 1^m ed è alta 0^m20. Porta nove pale infisse in un cilindro centrale, e inclinate ad esso. Il tino ha 1^m02 di diametro e 2^m di profondità; la ruota vi stà quasi al fondo. L'acqua vi giunge per un condotto che nell'ultimo tratto rimane tangente alla parete interna (Tav. VIII. fig. 5) del tino. Essa portasi alla parte adiacente di quella superficie concava, e girando discende sulle sottoposte pa-

le. Ritenuta però dalla forza centrifuga aderente alla parete del tino, accadrebbe una forte diminuzione del suo effetto sulla ruota, se questa fosse di diametro minore. Per evitare questa diminuzione nelle costruzioni moderne si colloca la ruota immediatamente sotto il tino, e le si dà un diametro un poco maggiore.

Le ruote a pale curve di quella perfezione, che sopra in teoria abbiamo indicate, non possono ottenersi in pratica, e ben lungi da quelle l'effetto di queste ora descritte, che in gran parte agiscono col peso dell'acqua e poco coll'urto, non può valutarsi più di $^1/_6$ PA, e con i perfezionamenti suddetti 0,25. PA. Hanno il vantaggio tali ruote di potere agire anche sott'acqua, purchè rimanga differenza di livello tra l'acqua che entra nel tino, e quella che ne esce. Ma noi vedremo che le ruote qui appresso, le quali agiscono per effetto del solo urto, danno resultato migliore di queste.

232. *Ruote mosse dall'urto di una vena fluida.* In queste ruote le pale sono impiantate in un cilindro; rimangono normali alla vena fluida ed inclinate al piano della ruota (Tav. VIII. fig. 6), e soglion farsi di figura concava la cui curvatura aumenta di più quanto maggiormente è più lontana dal centro. L'acqua è lanciata contro le pale da una bocca piramidale, e poco inclinata. Il diametro della ruota è di circa 1^m50 ed ha un'altezza di 0^m20.

Diretta contro la pala l'acqua motrice con velocità di 7 o 8^m, agisce quasi unicamente per l'urto. Qui adunque tutte le difficoltà che si sono incontrate nella determinazione dell'urto (153 *e seg.*) complicano la dottrina di queste ruote. Se designamo con $\psi\psi'$ gli angoli che fa la vena fluida con la pala, e la pala col piano orizzontale: se riteniamo per ora la pala come piana, e come unica, la pressione idraulica moltiplicata per la velocità v della ruota darà il lavoro meccanico (155. V.)

$$k''pmS\frac{Vv}{2g}\,sen\,\psi'(V\,sen\,\psi-v\,sen\,\psi')$$

Qui notisi che $pmSV$ è il peso P dell'acqua che fluisce in 1^s, con i consueti metodi troveremo per il massimo effetto.

$$\psi=90^o \text{ e } v=\frac{V}{2\,sen\,\psi'}=\frac{\sqrt{2gh}}{2\,sen\,\psi'}$$

Questi valori messi nell'espressione del lavoro meccanico della ruota, danno per l'effetto massimo di essa $^{k''}/_4$ PA. Espressione che posto $k''=2$ diviene $^1/_2$ PA cioè simile a quella che si è trovata per le ruote verticali a pale (222). Non può trascurarsi di notare come singolar vantaggio di queste ruote la gran semplicità che presentano, non tanto per la loro costruzione, che porta poca spesa di prima montatura e di mantenimento, quanto per quella che recano alle macchine cui vanno unite, particolarmente se esse siano macine da mulini che verranno portate dall'albero stesso della ruota. Infatti l'albero della ruota portando l'asse della macina, non si avranno sfregamenti che sul dado ove posa l'albero, e piccolissimo sarà l'ingombro di tutto il meccanismo. Spessissimo si trovano anche da noi usate in quei mulini che avendo poca acqua perenne, han bisogno di riempiere anticipatamente la gora o bottaccio, e agiscono ad intermittenza. Vero è che se alle macine le ruote orizzontali risparmiano tutti gli ingranamenti, fanno a quelle concepire la velocità che esse hanno, la quale non può esser sempre la più adattata alla macinazione.

253. *Rapporto tra l'effetto ottenuto da questa ruota, e il lavoro motore.* — È ben manifesto che non può dalla esperienza attendersi confermato in totalità il resultato teorico e per l'obliquità che hanno molti filetti fluidi nell'incontrare le pale, e per lo sparpagliarsi di altri sfuggendo il contatto di quelle. Contuttociò molto offre di compenso la concavità che si usa nelle pale (231), e forse il trattenersi che fanno su quelle le particelle liquide gravitandovi col proprio peso. Può dirsi che è più grande il loro effetto di quello che danno le ruote a pale piane verticali, e secondo D'Aubuisson riterremo

$$E = \frac{1}{6} PA$$

I Signori Tardy e Piobert han fatto esperienza sovrà una di queste ruote usando il freno dinomometrico di Prony, ed è dalle medesime resultato che per ottenere maggiore effetto, deve la celerità della ruota essere assai minore di quella dell'acqua affluente, e forse quando si potesse mandare con conveniente lentezza la ruota si otterrebbe anche in pratica il resultato teorico $E = 0,50\,PA$. Realmente con la caduta di circa 4^m e con una portata di $0,3^m$ cubi al secondo.

essendo $\frac{v}{V} = 0,862$ è resultato $\frac{E}{PA} = 0,312$

» 0,818 » 0,320

» 0,844 » 0,330

» 0,756 » 0,382

» 0,694 » 0,403

La formula che dà secondo Morin l'effetto massimo è

$$E = \frac{750.Q}{g}(V\,sen\,\psi - v\,sen\,\psi')v\,sen\,\psi'$$

Ruote orizzontali a getti

254. *Teoria delle ruote orizzontali quando l'acqua si allontana o si avvicina al centro.* — Per completare la teoria esposta (229) devo esaminare cosa accada per un moto eccentrico o centrale dell'acqua. Sia r la distanza dall'asse di un punto qualunque della ruota, R' quella del punto d'entrata dell'acqua, ed R quella del punto d'escita. La celerità V dell'acqua che entra nella ruota (essendo φ l'angolo che essa fa coll'orizzonte) ha per componenti verticali $V\,sen\,\varphi$, e per componente orizzontale $V\cos\varphi$; perciò la celerità relativa con la quale l'acqua comincia a scorrere lungo le pale sarà

$$\sqrt{V^2 sen^2\varphi + (V\cos\varphi - \omega R')^2}$$

indicando con ω la celerità angolare. Quindi la forza viva in quell'istante verrà espressa per

$$\frac{P}{g}\left[V^2 sen^2\varphi + (V\cos\varphi - \omega R')^2\right]$$

A questa forza viva durante il tempo che l'acqua stà nella macchina si unisce il doppio del lavoro prodotto dalla gravità che è $2Pa$ rappresentando a l'altezza della ruota, ed inoltre si unisce il doppio del lavoro prodotto dalla forza centrifuga, che è

$$2\int \frac{P}{g}\frac{\omega^2 r^2}{r}dr = \frac{P}{g}\omega^2(R^2 - R'^2)$$

Ma essendo

$$a = A - \frac{V^2}{2g}$$

la forza viva che ha l'acqua nell'atto di escire dalla ruota è

$$\frac{P}{g}\left(2gA - 2\omega R'V\cos\varphi + \omega^2 R^2\right)$$

E la radice quadrata della quantità tra parentesi diminuita di ωR indicherà la celerità effettiva in quell'istante. Questa velocità inalzata a quadrato, e moltiplicata per la massa darà la forza viva, che deve essere eguale a $2PA - 2E$; cioè al

doppio della differenza tra il lavoro motore e l'effetto della ruota. Onde avremo

$$E = \frac{P}{g}\left[\omega R'V \cos\Phi - \omega^2 R^2 + \omega R\sqrt{2gA - 2\omega R'V\cos\Phi + \omega^2 R^2}\right]$$

Questa espressione dell'effetto utile dato dalla ruota sarà il più grande possibile, ed eguale al lavoro motore PA, se la celerità effettiva dell'acqua al sortire dalla ruota è nulla, cioè se si ha

$$\sqrt{2gA - 2\omega R'V\cos\Phi + \omega^2 R^2} - \omega R = 0$$

Da dove si rileva la velocità all'ingresso

$$\omega R' = \frac{gA}{V\cos\Phi}$$

Valore identico a quello che si era trovato per v (230) nel caso che l'acqua non si allontanasse nè si avvicinasse all'asse della ruota. Dunque questa teoria, che è dovuta a Navier, mostra come l'avvicinarsi o allontanarsi del fluido all'asse non ha alcuna influenza sulle condizioni dello stabilimento della macchina: convien dar sempre la stessa velocità di rotazione al punto della ruota ove entra l'acqua: l'aumento o la diminuzione che la forza centrifuga produce nella velocità dell'acqua, sono compensati dalla velocità più grande o più piccola del punto della ruota da dove esce l'acqua.

Ancora qui può riflettersi che in pratica non si ottiene che ogni particella della massa liquida obbedisca alle condizioni volute dalla teoria, e perciò non è possibile attendere confermati questi vantaggiosi resultati, ed avere per effetto della ruota tutto il lavoro motore. Pure si avranno dalle macchine che siam per descrivere effetti meno discordi dalla teoria, e credo perchè più estesa poteva qui farsi la pala, o l'organo che tien luogo di quella.

235. *Trottola o ruota conica.* — Questo nome che io uso è stato dato da Burdin anche ai suoi turbini, mi sembra però più conveniente alla ruota in forma di cono rovesciato (Tav. VIII fig. 7) che suole usarsi per alcuni molini. Questa gira in un tino di muramento; le pale sono applicate obliquamente sulla superficie del cono, e vi formano una porzione di spirale. Con gran rapidità si muove la ruota mentre l'acqua scende per le diverse spire, ancorchè sia questa in poca quantità.

Utile correzione sarebbe a questa ruota farle un'inviluppo fisso conico, e non porla nella superficie concava del tino, che obbliga a lasciare un certo spazio tra essa e la ruota, dal quale n'esce l'acqua sollecitata dalla forza centrifuga. Forse una tal mutazione la renderebbe la migliore fra le danaidi che si conoscono.

236. *Danaide di Carnot, e di Burdin.* — Un cono di lamiera rovesciato, abbia al fondo cioè alla parte stretta un foro dal quale possa escire il liquido, e l'attraversi l'asse di rotazione. Lo stesso asse porti un'altro cono che lasci dal primo un'intervallo di 4 a 5 centimetri. Si abbia una simile distanza tra la base inferiore del cono interno, e il fondo dell'esterno, ed in quest'ultimo spazio siano dei setti o tramezze verticali che terminino al contorno dell'orifizio circolare aperto al mezzo del fondo. L'acqua motrice diretta tangenzialmente alla superficie interna del cono di lamiera, si avanzerà fregando in spira contro questa superficie la farà girare, e ne escirà dall'orifizio centrale. Allora non avrà essa più moto sensibile perchè la forza con-

trifuga agirà contro la direzione del movimento. Carnot ha provato in piccolo questa ruota, che chiama Danaide, e ne ha ottenuto anche 0,70 PA, e 0,75 PA.

Il Burdin ha costruito ad uso di officine una Danaide, o turbine a reazione, che ha al suo fondo un' orifizio circolare di $0^{m}30$, una sezione superiore con diametro di $1^{m}20$, ed una altezza totale di 2^{m} circa. Tra la superficie convessa e la concava, sono otto tramezze verticali che discendono fino al fondo. L'acqua per mezzo di adattato recipiente vien mandata con debole inclinazione e tangenzialmente alla superficie interna del cono; essa preme le tramezze, e mette la macchina in moto, giunge al fondo con minima velocità orizzontale per effetto della forza centrifuga, e ne esce per il foro del mezzo quasi senza moto. Il recipiente che somministra l'acqua suole avere circa l' altezza della ruota affinchè l' acqua vi giunga con una celerità dovuta alla metà dell' altezza totale, e questa disposizione ha il Burdin usata nella maggior parte dei suoi turbini. La velocità dell'acqua che sgorga sotto il battente di un metro è di $4^{m}43$, ed altrettanta è la velocità de' punti della ruota che la ricevono, onde non vi è urto nell' ingresso. Contuttociò l' effetto utile di queste macchine sembra vagare tra 0,65, e 0,75 della forza motrice.

257. *Turbine di Burdin a pressione*. — Questo ingegnere ha risoluto il problema sul dare acqua alle ruote orizzontali col formare la ruota di due pezzi uno fisso e collocato al di sopra, ed uno girevole posto al di sotto. Il primo è un bacino circolare che fa continuazione del serbatojo o canale d' arrivo con fondo grossissimo e sparso di fori, o condotti che tolgono la contrazione della vena, e mandano il fluido colla direzione voluta dalla teoria. La ruota sottoposta ha alla sua parte superiore una cassetta circolare fonda circa $0^{m}08$ sul fondo della quale, sono dei corti ombuti in numero 56 uno accanto all' altro con piccoli cannelli di latta che formano i getti, piegati per modo che la lor parte superiore è verticale, e l' inferiore quasi orizzontale. L' acqua gettata dai condotti passa nella cassetta e negli ombuti, discende lungo i cannelli, e pressandone la parete inferiore fa girare la ruota. I piani verticali per i quali vanno i getti non sono tutti normali ai raggi della ruota, ma il primo ne devìa a destra, il secondo è normale, il terzo ne devìa a sinistra, e così di seguito. Onde su tre circonferenze concentriche ma di diverso raggio l' acqua esce, e sebbene sia quasi senza moto progressivo non è urtata dall' altra che ne vien dopo, perchè si raccoglie in tre differenti canali. L'acqua entrando senz' urto e scaricandosi senza velocità imprime alla ruota quasi tutta la sua azione per cui ne resulta un' effetto non dissimile da quello di una buona ruota a cassette, giacchè è stato in una ruota poco differente da quella descritta 0,67 PA.

Ruote con pale esterne separate dal cilindro centrale.

258. *Ruote orizzontali di Poncelet*. — Nelle lezioni del 1826 Poncelet propose una ruota orizzontale analoga alla sua verticale a palmette curve. In questa l' acqua arriva sulla circonferenza esterna tangenzialmente alle pale curve contenute fra due piani orizzontali, circola sulle pale,

e animata dalla celerità acquistata e dalla forza centrifuga esce dalla ruota per la circonferenza interna con una celerità assoluta che si può render nulla o piccolissima. In questa vedesi che seguendo i principj della teoria generale (176) la forza viva della celerità d'ingresso aggiunta al doppio del lavoro meccanico dovuto alla forza centrifuga (la celerità relativa all' ingresso sulle pale è $V - \omega R'$, ed è $M\omega(R^2 - R'^2)$ il doppio del detto lavoro) darà la forza viva, che ha l'acqua nell'egresso : cioè

$$\frac{P}{g}\left(V^2 - 2\omega R'V + \omega^2 R^2 \right)$$

Perciò la radice quadrata della quantità tra parentesi sarà la velocità d'egresso che io rappresento con v. Ora l'effetto della ruota sarà dato dal lavoro dell'acqua per la caduta A diminuito della metà della forza viva che rimane all'acqua nell'atto d'escire. E siccome resta l'acqua animata dalla velocità v, e da quella ωR della circonferenza interna, posto che queste facciano fra loro l'angolo ψ, sarà il rammentato effetto $E = PA - \frac{1}{2} M(v^2 - 2v\omega R \cos\psi + \omega^2 R^2)$ Di qui scorgesi che l'effetto della ruota sarà al massimo allorchè

$$\cos\psi = 1, \text{ e } v = \omega R.$$

La prima condizione porta che la curva delle pale deve essere coll'estremità tangente alla circonferenza interna, e la seconda che sia $V = 2\omega R'$ cioè debba la circonferenza esterna avere la metà della velocità dell'acqua che entra sulla ruota. Possiam dunque concludere che si ha la stessa relazione per queste ruote e per quelle a pale curve verticali, e teoricamente riproducono entrambi per l'effetto massimo tutto il lavoro della caduta.

Non può in pratica adempiersi la condizione che l'acqua entri tangenzialmente alle pale, e alla circonferenza esterna della ruota, e che ne esca pure tangenzialmente a quella interna, e quand' anche si guarnisca l'apertura di porzione di condotto circolare conviene contentarsi che faccia un'angolo di 30° all'ingresso e di 40° all'egresso. Inoltre se la ruota non avrà sufficiente estensione la lama di acqua non potrà con tutti i suoi filetti ritenersi che abbia un'andamento parallelo alle palmette perchè il bordo di queste darà urto grande all'acqua che è per entrare e ne disturberà l'andamento. Sembra che in mancanza di resultati d'esperienze attendibili, dovrebbe argomentarsi l'effetto come poco inferiore a quello delle ruote verticali a pale curve (226). Uno però ve ne ha che il sig. Rinaldo Ruschi, sempre intento a studiare le utili applicazioni della scienza, procurò coll'apporre questa ruota ad uno de' mulini di Calci. L'altezza dell'acqua era 11^m e perciò entrava questa colla velocità di 14^m68. Avrebbe dunque per il migliore effetto dovuto, avere la circonfenza esterna della ruota una velocità di 7^m34, la quale essendo il raggio $R = 0^m80$ darebbe $\omega = 9^m17$: velocità come ognun vede piccolissima per le macine di circa 4 piedi di diametro, che devono fare più di 100 giri (*Intr.* 181) al minuto. Forse per tal cagione il lavoro utile di questo mulino riuscì molto inferiore a quello che esso dava con una ruota verticale a cassette, giacchè produsse sole 15 sacca di grano macinato in 24 ore, mentre con la ruota a cassette macinava da 20 a 24 sacca. Che se avvertiamo essere stata la portata media dell'acqua di 30^k convien concludere che l'effetto utile di questa ruota non ha superato 0,375 PA.

939. *Ritrecini a cassette.* — Il Poncelet asserisce che gli orli con i que-

li il Morosi guarniva le pale, non accrescono l'effetto delle ruote se non di un quinto, ma oltre ad esser ciò opposto alla teoria (155) possiam riflettere che egli si è dipartito dalle esperienze del Cristian le quali son totalmente diverse da quelle del Morosi. Per ottener tutto il vantaggio del ritrovamento del Morosi, il quale sembra potersi estendere anche al doppio, è necessario che la corrente urti la pala ridotta a vena fluida e non a canale. Ecco le parole di questo meccanico « Coteste ruote sono del genere dei retrecini, cioè girano orizzontalmente, ma hanno le pale chiuse fra due sponde come le ruote a cassette verticali. Sulla metà della superficie interna di queste pale è attaccato trasversalmente un pezzo d'asse che vi forma un risalto di un'altezza di due pollici circa. I canali che a questa conducono sono piramidali e chiusi da ogni lato solidamente fissati al fianco della gora, e nel più basso di essa. Sono situati perciò orizzontalmente e la loro direzione è tangenziale alla periferia delle stesse ruote. Nella sponda inferiore di esse fui costretto a lasciare delle aperture, per dar luogo all'acqua di uscire tostochè aveva urtato le pale. La bocca d'ogni canale è contenuta fra le dette sponde in modo che l'acqua non si devia da esse, e nell'atto di urtare tutta trovasi chiusa nelle respettive ruote, talmente che sù d'ogni parte poggiando le spinge con tutta l'energia della forza della quale è capace ». Il Prof. Masetti calcola l'effetto di queste 0,5926 PA, cioè circa tre quinti del lavoro motore, e già noi rileviamo che per teoria potrebbe anche essere maggiore se nella formula del §. 252 poniamo per k'' il valore di 5,9 come è resultato dalle esperienze del Bidone (155. VI.) sebbene questo sia facile argomentare essere per il caso nostro eccessivo; si avrebbe allora per il massimo effetto quasi tutto intero il lavoro motore cioè $^{39}/_{40}$ PA.

240. *Turbini di Furneyron.* — Un terzo turbine inventato da Burdin è quello a forza centrifuga. Fourneyron suo allievo ne ha costruiti e imaginati diversi, e lo ha ridotto una delle migliori macchine idrauliche che si conoscano. Egli ha collocato la ruota non al di sotto dell'organo che somministra l'acqua, ma nello stesso piano ed all'esterno di quello. Questi turbini si dividono in due classi; quelli destinati a lavorare continuamente sott'acqua, e quelli che lavorano fuor d'acqua. Noi trarremo dall'opera di D'Aubuisson la descrizione di uno appartenente alla prima classe, che è fra i più grandi che siano stati dall'autore costruiti, ha una forza di 50 cavalli, ed è messo in moto da una caduta di acqua di $1^{m}40$, e che può sommistrare anche quattro metri cubi di acqua in un secondo.

Si compone di tre parti principali: il turbine propriamente detto (Tav. VIII fig. 8) AB con il suo albero C; il cilindro DEFG, ed il suo fondo HH che è sostenuto dall'altro cilindro interno LL; la cateratta MM. Il tutto di ghisa o di ferro. Il turbine o ruota che gira, è formata da due corone che racchiudono le palmette: esse hanno il diametro esterno di $2^{m}90$ e quello interno di $2^{m}40$; sono l'una dall'altra distanti per $0^{m}55$: e contengono 36 palmette verticali, curve e formate di lamiera. Il primo elemento *d* della palmetta è perpendicolare alla circonferenza interna, e l'ultimo *e* fa un'angolo di circa 15° con la circonferenza esterna. La cal-

lotta sferica *ff* che regge il turbine AB riceve nel suo centro l'albero C, e termina in un pernio d'acciajo il quale riposa sovra un dado *ii* contenuto in un forte bacino di ghisa *ll* il quale può inalzarsi a misura che si consuma il pernio. Il cilindro DEFG ha per diametro DG 2^m40 e 0^m50 per altezza DE; al suo orlo superiore porta un ribordo largo 0^m18 per mezzo del quale si fissa al ripiano HH che è il fondo. Mentre la cateratta circolare MM sta abbassata, l'acqua del serbatojo riempie il cilindro, e non ne esce; che se viene alzata scorre l'acqua attraverso alle contigue palmette le sforza a cedere, fa girare il turbine, escendo nel sottoposto borgonajo o canale. Il fondo HH del cilindro che sta a livello della corona inferiore della ruota porta al centro l'altro tubo II con diametro 0^m60, e con altrettanta altezza, al quale ed al fondo si fissano le tramezze o curve direttrici OOO in numero di 12 come mostra la figura. Poco interessa la natura della curva, solo la lor parte estrema *mn* per un tratto di 0^m25 è in linea retta e fa un'angolo di 30° con la circonferenza esterna. La cateratta ha pure l'aspetto di un cilindro mobile che sta dentro al primo, ed ha un diametro di soli 2^m25 per lasciare uno spazio ad un'imbottitura di cuojo; la sua altezza è di 0^m50; e la parte interna è formata con pezzi di legno *pp* grossi 0^m18, ciascuno de' quali entra tra una e la susseguente curva direttrice. In tal modo quando la cateratta è stata con adattato meccanismo alquanto sollevata, il fondo le curve direttrici e i pezzi di legno formano come tanti tubi addizionali che lanciano l'acqua entro il turbine. Gran semplicizzazione si farebbe dando acqua al turbine AB con un tubo a bocca piramidale.

241. *Teoria dei precedenti turbini.* — Nel turbine di Furneyron l'acqua agisce per effetto dell'urto e della forza centrifuga. Per questa forza l'acqua che è nel turbine tendendo ad allontanarsi dall'asse produce una non-pressione sulle aperture del cilindro per cui l'acqua ne escirà non solo giusta l'altezza A della caduta, ma anche giusta il succhiamento della forza centrifuga, il quale si effettua meglio quando il turbine è sott'acqua. Siano O, O' la somma delle sezioni contratte delle bocche per le quali l'acqua esce dal cilindro, e respettivamente dal turbine. Sia V la celerità colla quale il liquido escirebbe dal cilindro se non esistesse la forza centrifuga, e v quella relativa con la quale esce dal turbine; ϕ, ϕ' gli angoli che fa il liquido nell'entrare ed escire dal turbine con le circonferenze, delle quali siano respettivamente raggi R' R. Ritenuto ω per la velocità angolare, avremo:

1.° ωR, $\omega R'$ per le velocità respettive di queste circonferenze.

2.° La velocità u' colla quale esce il liquido dal cilindro si può ottenere dall'espressione della portata $Q = VO = u'O'$.

3.° La velocità assoluta d'egresso è la resultante di u' e $-\omega R'$ cioè

$$\sqrt{(u'^2 + \omega^2 R'^2 - 2u'\omega R' \cos\phi')}$$

Quanto più piccola sarà questa, tanto minor forza viva si perderà, onde $\phi' = 0$ dà la miglior disposizione.

4. Si avranno alcune perdite di forza viva nella massa fluida particolarmente lungo il condotto che porta l'acqua nel cilindro, all'ingresso in questo, e lungo le curve direttrici. Tutte queste possono assumersi rappresentate dalla formula

$$\frac{P}{g}\left(\sqrt{2gA} - V\right)^2$$

5.° Il lavoro generato dalla forza centrifuga (254) sarà

$$\frac{P}{2g}\,\omega^2\,(R'^2 - R^2)$$

6.° La velocità che ha il liquido esistendo la forza centrifuga, si dedurrà sommando la forza viva proveniente dalla celerità V con quella proveniente dalla forza centrifuga, e verrà espressa per

$$\sqrt{V^2 + \omega^2 R'^2 - \omega^2 R^2}$$

7.° Finalmente ritenuto che l'angolo φ sia retto, l'urto dell'acqua contro le palmette si fa normalmente con la velocità ora determinata, e contro un piano che muovesi colla velocità $-\omega R$. Per conseguenza il lavoro della pressione idraulica, o l'effetto della macchina si esprimerà (174) con

$$E = \frac{P}{2g} k' \omega R \left(\sqrt{V^2 + \omega^2 R'^2 - \omega^2 R^2} - \omega R \right)$$

8.° Per ottenere il massimo effetto riterremo che non si abbiano resistenze, e sia $2gA = V^2$; e quindi determineremo la relazione che ha da passare tra V ed ω. E posta a zero la derivata dell'espressione dell'effetto rapporto ad ω, si trova essendo $b = R'^2 - R^2$

$$\omega = V \sqrt{\sqrt{\left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{4(b^2 - b)}\right)} - \frac{1}{b}}$$

Di qui scorgesi che la velocità del turbine deve esser proporzionale alla velocità dell'acqua, e deve scemare al crescere della differenza fra i quadrati dei due suoi raggi.

242. *Rapporto tra l'effetto della macchina e il lavoro motore, e vantaggi di essa.* — Nell'applicare la formula sopra esposta ai resultati sperimentali ottenuti da Morin sul turbine di Mullbach, dipartimento del Bas-Khin, ho ritrovato che ritenendo V come proveniente dall'intera caduta di acqua, il coefficiente k' assume dei valori sempre più grandi, a misura che è minore la velocità del turbine, ed ha sempre valori che abbiam veduto convenirli parlando di urto contro lastre munite di ribordo (155. VI). Essendo in un minuto il numero de' giri 104. 52. 48. 34,4 ho ottenuto per k' i corrispondenti valori 2,5. 2,6. 2,8. 3,58. In questi casi il rapporto tra l'effetto della macchina e il lavoro motore resultava respettivamente espresso per 0,055. 0,685. 0,671. 0,626. Con la stessa macchina è stato questo rapporto spinto anche a 0,793; e col turbine di Lepine Dipartimento di Seine, a 0,795. Quando le velocità del turbine variavano da 59 a 79 giri la variazione del rapporto è stata tra i limiti 0,78 e 0,79.

Per verificare la sopra riferita teoria ho anche sulla macchina di Mullbach riscontrato se la velocità angolare che resultava la più vantaggiosa per calcolo lo era per esperienza, e poichè si aveva

$R' = 1$, $R = 0{,}7$, $b = 0^m51$, $A = 3^m5$

ho trovato $\omega = 4^m{,}06$ cioè circa 52 giri al minuto. Ed infatti nelle diverse serie d'esperienze si è ottenuto il massimo a circa 50 giri.

L'esperienze di Morin sono state istituite 1.° sul turbine di Moussay animato da una caduta durante gli sperimenti di 7^m50 circa, ed immerso nell'acque di scarico perfino a 0^m974 2.° sul turbine di Mullbach, ove la caduta nel corso degli esperimenti è stata di 3^m50 circa, e l'immersione fino a 0^m750, 3.° sul turbine di Lepine animato da una caduta di $3.^m$ 4.° sul turbine d'Inval pel quale la caduta disponibile è stata successivamente ridotta da 1^m174 a 0^m295 mentre per contrario la profondità d'immersione è stata aumentata da 1^m15 fino ad 1^m74, 5.° sul turbine

di St-Blaise, che con un diametro $0^{m}55$ utilizza una caduta di 108 metri facendo 2300 giri al minuto, e trasmette una forza di 40 cavalli.

E da tutte queste egli deduce:

I. Che tali ruote convengono alle grandi come alle piccole cadute, e sono state provate da $0^{m}507$ a 108^{m}.

II. Che trasmettono un'effetto utile netto da 0,70 P A a 0,78 P A, talchè l'effetto di queste ruote non può esser sorpassato che da qualche ruota a cassetta di gran diametro.

III. Che possono concepire velocità assai (circa $^{1}/_{5}$) discoste in più o in meno da quella conveniente all'effetto massimo senza notevolmente allontanarsi da questo: che se però la loro velocità diminuisse molto, l'acqua rimbalzerebbe entro la ruota con perdita non lieve di forza.

IV. Che il rapporto dell'effetto utile al lavoro motore non soffre rilevante diminuzione, facendolo agire sott'acqua per la profondità di 1 a 2. metri.

V. Che in vista di quest'ultima proprietà, tali ruote utilizzano a qualsisiasi epoca l'intera caduta disponibile, poichè si stabiliscono al di sotto del livello delle più basse acque.

VI. Che possono ricevere quantità d'acqua variabilissime, senza che il detto rapporto dell'effetto utile alla potenza soffra notevole diminuzione.

VII. Che occupano ben poco spazio, e trasmettono velocità più grande di qualunque altro motore idraulico, ed anche di 2300 giri al minuto.

VIII. Sono da proporsi più particolarmente nei luoghi di pianura esposti ad inondazione: per quei casi nei quali varia moltissimo la caduta: per quelli ove occorre molta velocità senza uso d'ingranamenti.

243. *Regole per la costruzione e per lo stabilimento del turbine.* — Una teorica data sù principj diversi da quelli che io ho creduto dovere stabilire, ma che concorda nei resultati, ed una lunga serie d'osservazioni han condotto il Fernegyren a fissare le seguenti norme per costruire e stabilire questa sua ruota.

I. Chiamiamo e l'altezza delle luci d'effusione del cilindro; e fatte giusta la miglior pratica le curve direttrici di lamiera di ferro, si ha pressimamente che la somma delle larghezze di queste luci è 2,8 R, onde essendo m il coeficiente di contrazione si avrà la portata $Q = 2,8 . m R e V$.

II. L'area totale di tali luci perchè se ne abbia alimentazione completa, si fa eguale alla quarta parte del cerchio, perciò $2,8 R e = 0,784 R^{2}$.

III. Dalle due precedenti equazioni si dedurranno i valori di e, R, ponendo $m = 0,95$ per aperture di cateratta di pochi centimetri, supposto il lato superiore delle luci d'effusione arrotondato e grosso: questo numero si diminuirà per aperture maggiori.

IV. Il rapporto tra il diametro interno, ed esterno della ruota si fa $= 1,45$ per le piccole ruote che han diametro minore di 2^{m}, e da 1,35 ad 1,20 per le ruote più grandi.

V. L'angolo che il filetto medio della vena liquida, introdotta fra due pale curve consecutive, forma colla circonferenza esterna della ruota converrebbe fosse eguale a zero, e così pure zero dovrebbe essere quello che fanno le palmette con quella circonferenza. Ma l'esperienza ha mostrato che il liquido escirebbe allora con difficoltà dalla ruota, e fa duopo farlo da 10° a 15°. Ne più piccolo di 30° può farsi l'angolo che formano le curve direttrici colla circonferenza interna del turbine.

VI. Il numero delle pale o palmette è 18 al turbine del Pont-sur-l'O-

gneu, è 27 a quella di Dampierre, e 56 all'altro di Fraisons. Si tiene l'altezza delle palmette un settimo del diametro interno.

VII. Le curve direttrici per le ruote di 18 a 24 pale, e per quelle che ne contengono di più, devono essere la metà ed il terzo respettivamente del numero di esse pale, e se con tal regola esse vengono molte, non si faranno giungere tutte al centro. La curva dell'una e delle altre è descritta con regole determinate (*Atti della Società d'incoraggimento* 1855).

Macchine a reazione

244. *Come la reazione dia movimento*. — L'eguaglianza tra l'azione e la reazione fissata come assioma meccanico, che da noi è stato avvertito (156. 102) anche in idraulica, può esser cagione di movimento quando escendo per un'orifizio il liquido la macchina può obbedire alla pressione non più contrabbilanciata che si fa nelle parti a quello opposto; e quando il liquido reagendo alla pressione serve come punto d'appoggio alla macchina che si muove. Il turnequet o mulinello idraulico nel primo caso, e l'azione dell'acqua sui remi è nel secondo.

245. *Macchine di Manouri, e di Eulero*. — Aveva l'Eulero avvertito che movendosi intorno ad un centro per la reazione un tubo munito di orifizio mentre da questo segue l'efflusso, si ottiene maggior vantaggio se l'acqua esce dalla sua estremità ricurvata per modo che nell'ultimo suo elemento rimanga normale al raggio della circonferenza la quale nel moto percorre; e che si somma anche l'azione della forza centrifuga col ricurvare verso l'estremità il tubo. E per conseguire questi vantaggi il Manouri compose la macchina a reazione (Tav. VIII. fig. 9) con tubi DC, CE ingrossati verso il mezzo e curvati colle estremità in opposte direzioni. Dal basso all'alto sorgendo l'acqua nel punto C si riparte per i due canali che son tenuti ricurvati da staffe metalliche, e sgorga dalle due aperture D, E. Sembra che l'effetto di questa macchina sia sodisfacente, ed il Navier lo ritiene 0,80 PA, supposto che l'acqua entri nella macchina con una velocità dovuta all'altezza A. Quando ne esce sarà quest'altezza accresciuta di quella dovuta alla forza centrifuga $\omega^2 R^2$, ma poichè la macchina si muove in senso contrario dalla velocità che ne verrebbe, converrà sottrarre quella ωR della macchina, ed avremo per relazione dell'effetto

$$E = PA - \frac{P}{2g} \cdot (\sqrt{2gA + \omega^2 R^2} - \omega R)^2$$

Il massimo effetto si otterrebbe quando fosse $\omega R = \infty$.

Questa teoria non tiene però a calcolo la perdita di forza che soffrirebbe l'acqua, quando dovesse per dei tubi di diverso diametro, e per delle svolte passare nella macchina girante. Essa mostra inoltre che poche volte sarà questa macchina da usarsi nelle officine, perchè una sì gran velocità non può convenire alle lavorazioni.

Eulero stesso inventò una macchina a reazione consistente in una gran campana (Tav. VIII. fig. 10) o tronco di cono vuoto nel mezzo, formato da due superfici metalliche concentriche, che lasciano tra loro un recipiente chiuso da un fondo alla parte inferiore ed aperto a quella superiore. Nel fondo sono in giro diversi tubi ricurvi tutti tangenzialmente ad una medesima circonferenza. L'acqua motrice entra dalla

parte superiore, riempie il recipiente, ed esce per i piccoli fori.

Modificò poi questa macchina aggiungendovi di sopra un recipiente fisso cilindrico e anulare, il qual pure ha nel fondo piccoli tubi, ma rettilinei ed inclinati sotto un determinato angolo, per lanciare l'acqua nell'altro recipiente sottoposto mobile attorno all'asse. Come vedesi grand'analogia esiste tra questa e la macchina a getti (257) di Burdin.

246. *Ruote da Battelli a vapore.* — Invece di trattenermi sovra i più semplici meccanismi che si usano per remare, io considero quelli che si adoprano nei battelli a vapore, e qui le ruote a pale le quali girando per l'azione di una macchina a vapore, o per altro motore, fan progredire il battello. La lunghezza delle pale suol variare da 1^m50 a 2^m10 e corrispondentemente l'altezza da 0^m60 a 0^m90, mentre la forza annessa al battello da 20 cavalli si riduce a 100 cavalli. Indicheremo con V la velocità del battello, e con v quella che può avere la corrente dell'acqua: con U la velocità di rotazione del centro della porzione di pala immersa: con R il raggio della ruota computato dal detto centro: con B l'area della sezione trasversale del battello, e con b l'area delle porzioni di pale immerse: con $k\,k'$ i valori che devono respettivamente darsi al coefficiente della resistenza dell'acqua, con p il peso specifico del liquido. L'acqua oppone al battello la resistenza

$$p\,k\,B\,\frac{(V+v)^2}{2g}$$

e le pale esercitano sull'acqua in senso contrario lo sforzo

$$p\,k'\,b\,\frac{(U-V-v)^2}{2g}$$

Converrebbe, parlando a rigore, porre per ciascuna pala che sta immersa il suo termine corrispondente a questo, ove per ognuna varierebbe il coefficiente k' dipendentemente dall'inclinazione che la pala non verticale presenta alle velocità V, v; o almeno queste velocità converrebbe che fosser moltiplicate pel coseno che fa la respettiva pala colla verticale. Noi supporremo che questo termine ci rappresenti la somma di quelli; e riterremo ancora che il pelo d'acqua non abbia pendenza altrimenti sarebbe da mettersi in calcolo anche la forza di gravità. Il moto uniforme sarà perciò dato dall'equazione

$$p\,k\,B\,\frac{(V+v)^2}{2g} = p\,k'\,b\,\frac{(U-V-v)^2}{2g}$$

Inoltre il lavoro meccanico della forza motrice che indicherò con PA deve in ogni giro della ruota essere

$$p\,k'\,b\,\frac{(U-V-v)^2}{2g}\,.\,2\pi R$$

onde avremo

$$U = V + v + \sqrt{\frac{g\,PA}{\pi\,p\,k'\,b\,R}}$$

$$= V + v + (V+v)\sqrt{\frac{k\,B}{k'\,b}}$$

Questa velocità deve sempre sorpassare la velocità relativa del battello, ma tanto di meno quanto l'area delle pale è maggiore. Si ha parimente, dalle due precedenti equazioni eliminando U, la velocità del battello espressa per il lavoro della forza motrice

$$V = -v + \sqrt{\frac{g\,PA}{\pi\,p\,k\,B\,R}}$$

cioè sulla velocità del battello non influisce la resistenza che incontrano le pale, ma solo il raggio delle loro ruote. E poichè indicando con t la durata di una rivoluzione della ruota si ha $Ut = 2\pi R$, si dedurrà che il lavoro dato dalla forza motrice nell'unità di tempo, è

$$\frac{PA}{t} = \frac{p\,k\,B\,(V+v)^2}{2g}\left(1+\sqrt{\frac{k\,B}{k'\,b}}\right)$$

Onde il lavoro motore cresce proporzionalmente alla terza potenza di $V+v$, e diminuisce al crescere della estensione delle pale, dal che intendesi il resultato della precedente equazione. Inoltre poichè da quella deducesi che $V+v$ cresce allo scemare di R, potremo dire che il lavoro motore scema al crescere il diametro della ruota. Da quest' ultima equazione si scorge che volendo il *minimum* del lavoro meccanico motore nel percorrere una data distanza, converrà determinare V in modo da rendere un *minimum* la quantità $\frac{(V+v)^3}{V}$ cioè dovremo porre $V=\frac{1}{2}v$, la velocità del battello eguale alla metà di quella della corrente che rimonta. La perfezione della macchina dipende dalla quantità

$$1+\sqrt{\frac{kB}{h'b}}$$

247. *Ruote ed elice ed altri consimili meccanismi recentemente usati nei battelli.* — Si è da non molto tempo posta in uso la vite, detta anche ruota Archimedea, per ruota motrice dei battelli a vapore. Questa è composta di una superficie elicoide alquanto estesa che girando tutta sott'acqua attorno al suo asse il quale, ha la direzione di quello del battello, si avvita nell'acqua non altrimenti, che fa una vite in materia solida. Al vascello l'Archimede che ha macchine a vapore della forza unita di 80 cavalli, ed è lungo per 125 piedi inglesi, esiste una vite C motrice di dietro al timone B (Tav. VIII fig. 11) del diametro di 5 piedi e 9 pollici, che ha un solo verme ed un sol giro, il quale si estende sull'asse per 8 piedi. Con ruote dentate si aumenta la celerità della vite motrice, per cui in ogni completa oscillazione dello stantuffo si hanno sei giri.

Per confrontare la dottrina di tal vite motrice a quella delle precedenti ruote a pale conviene richiamarsi l'idea della vite (*Meco.* 265 *e seg.*). Questa macchina è capace di vincer molta resistenza con poca potenza, ma poichè si perde in velocità quello che si acquista in potenza non darebbe per questo che facilità di muovere il battello con piccola macchina a vapore, lentamente però; onde ne viene il bisogno di accrescere la velocità nella vite con ingranamenti, e per conseguenza quello di avere notabil forza nella macchina a vapore. Il più rilevante vantaggio può dedursi dal modo con cui la vite incontra la resistenza nell'acqua di un mezzo indefinito (165. IV): quindi saranno evitate le perdite di forza viva per urti irregolari, e si avrà a moto acquistato uniforme pressione idraulica, che eviterà le scosse nel battello, ed il sollevamento dell'acqua che accade nelle ruote ordinarie a pale. Anche la minor mole della macchina può presentarsi come un vantaggio, ma le stà a carico la difficoltà di comunicarle sott'acqua il moto. Io nell'impostare il calcolo della pressione idraulica non terrò dietro a tutte le avvertenze che ho notate parlando della resistenza nei mezzi indefiniti, giacchè mi propongo di farne solo gustare il processo. Indicata con U la velocità rotatoria di un punto dell'elice media, e con ψ l'angolo che fa l'elice interna con il lato del cilindro, per la dottrina della vite sarà

$$\frac{U}{tang\ \psi}$$

la velocità con la quale l'elice tende ad avanzarsi nella direzione del moto del battello. Onde la pressione idraulica proverrà dalla celerità relativa

$$\frac{U}{tang\psi} - V - v = \frac{U - (V+v)tang\,\psi}{tang\,\psi}$$

La superficie B′ elicoide sulla quale accade la pressione (chiamando r il raggio del cilindro di un' elice, ed R′, R quelli del cilindro dell' elice esterna, e dell'elice interna) sarà

$$\int\frac{2\pi R dr}{sen\,\psi} = \frac{2\pi R(R'-R)}{sen\,\psi} = B'$$

Ora ritenendo che si presenti in tutti gli elementi questa superficie sotto la stessa inclinazione media, e volendosi misurata la resistenza nella direzione del moto (153 III.) del battello, l' avremo espressa per

$$\frac{pk''B'\left[U-(V+v)\,tang\,\psi\right]^2 sen^2\psi}{2g\,tang^2\psi}$$

L'equazione del moto uniforme in questo caso sarà

$$kB(V+v)^2 = k''B'\left[U-(V+v)tang\psi\right]^2 cos^2\psi$$

Su questa espressione facendo considerazioni analoghe a quelle che si sono fatte per le ruote ordinarie(246) deduciamo

$$U = (V+v)\,tang\,\psi + \frac{V+v}{cos\psi}\sqrt{\frac{kB}{k''B'}}$$

$$= (V+v)\,tang\,\psi$$

$$+\sqrt{\frac{2g\,PA}{\pi pk''B'\,(R'+R)\,cos^2\psi}}$$

cioè la velocità della vite deve essere più grande di $(V+v)\,tang\,\psi$ lo che mostra il difetto di questa macchina quando ψ superi d' assai 45°. Allorchè $\psi = 45°$ e si ha nel battello a ruote la stessa forza motrice che nel battello a vite starà l' aumento che deve fare la velocità dell' una sopra $V+v$ a quello che prende l' altro

$$::{}^1/_2\sqrt{k''B'(R'+R)} : \sqrt{kBR}$$

lo che manifestamente mostra dovere andar più celere la vite che la ruota in confronto della celerità che prende il battello. Ciò tanto maggiormente accadrà quando è $\psi < 45$. Eliminata la U si ha

$$V = -v + \sqrt{\frac{2gPA}{\pi pk''B\,(R'+R)}}$$

cioè la velocità del battello sta in ragione inversa della radice del raggio medio della vite motrice.

Queste considerazioni sull' angolo che forma l' elice coll' asse della vite fan comprendere quanto sia utile determinare il suo valore corrispondente al *maximum*. Io però non estendo i calcoli sulla formula precedente perchè forse dovrebbe modificarsi per le deduzioni fatte da Duchemen (163 IV) sulla resistenza nei mezzi indefiniti. Nè la forma di questa ruota motrice può in pratica dirsi stabilita: il Rennie ne ha proposta una a spirale fatta con vite a due vermi la cui superficie elicoide si allarga mentre ciascun verme compie mezzo giro (Tav. VIII fig. 12). Nelle costruzioni più recenti, come sarebbe anche nel vascello a vapore la Gran Brettagna, si usa una ruota a pale curve in forma di settori d' elicoide. Ogni pala forma una piccola porzione di giro d' elicoide, ma essendo la vite a tanti vermi quante sono le pale, tutte quelle porzioni di giro compongono un giro intero.

248. *Osservazione generale.* — Fra i tanti ricevitori di moto di cui abbiamo tenuto discorso, ve ne ha sempre uno che sarà più adattato al caso particolare di cui occorrerà trattare. Le catene continue e le ruote verticali, richiedono una corrente quasi costante d' acqua, e sufficiente a produrre l'effetto perchè han bisogno di un meccanismo composto d'ingranamenti; a dar loro moto occorre tanta forza viva che recherebbe notabili perdite se volessesi agire ad intermittenze. Al contrario le ruote orizzontali sono adattate per il caso che

si abbia da agire solo in quell' intervallo di tempo in cui si ha piena la gora. Le cadute di acqua diversamente alte offrono un'altro elemento che può determinare la scelta del ricevitore. Per altissime ed anche mediocri cadute, sarà adattato il turbine di Fourneyron, e le ruote a cassette: per altezze piccole le ruote a pale cinte da corsia circolare: per altezze piccolissime e con abbondanza di acqua le ruote a pale curve o piane. Un terzo motivo di scelta è la velocità corrispondente al massimo effetto che può concepire il ricevitore: alcuni l'hanno fissa ed indipendente dall'altezza della caduta (208, 209, 211), altri dipendente dalla celerità dell'acqua che arriva sul ricevitore (222, 225, 241). Le ruote orizzontali non richiedono ingranamenti, e perciò una tal velocità deve combinare con quella richiesta dalla miglior lavorazione; noi abbiamo veduto (238) che per questo motivo male si conviene una ruota orizzontale di Poncelet ad un mulino da farina.

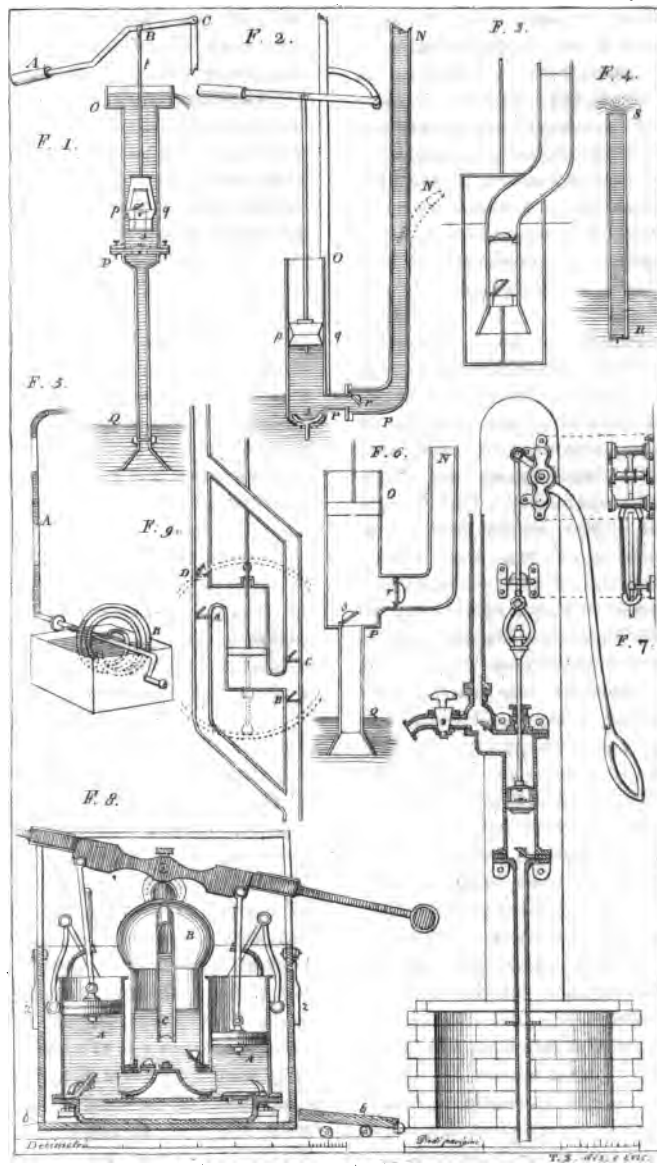
CAPITOLO X.

Delle Macchine Idrauliche.

249. *Soggetto del Capitolo.* — Per macchine idrauliche intendo quelle che agiscono sull'acqua, sia che servano ad inalzare questo liquido, o a regolarne gli effetti. Parlerò qui anche della pressa idraulica per la dependenza che la sua costruzione ha con quella delle trombe, sebbene fosse più adattato all'ordine porla fra i ricevitori. Le classe secondo il principio della loro azione; e perciò in macchine elevatorie per aspirazione e per pressione; a recipienti o analoghe ai ricevitori; a piano inclinato, a forza centrifuga, e ad adesione; per urto o macchine che elevan l'acqua, e che sono dall'acqua stessa tenute in azione; pressa idraulica. L'inalzamento dell'acqua è quasi l'unico argomento, e di tanto interesse esso si addimostra, che forma il vero e più proprio rappresentante del lavoro meccanico. Tra le macchine elevatorie le trombe tengono il primo posto, principalmente se l'acqua deve essere inalzata a notabile altezza: esse dividonsi in aspiranti, prementi, ed aspiranti prementi: ed in tutte sono da studiarsi la disposizione de' tubi, l'effetto dello stantuffo, e l'azione delle valvule.

Trombe, o Macchine ad aspirazione e a pressione.

250. *Tromba aspirante.* La tromba aspirante si compone di un tubo d'aspirazione PQ (Tav. IX. fig. 1) e del corpo di tromba PO. Il primo si immerge nel liquido che deve sollevarsi con una sua estremità aperta, e coll'altra si unisce al corpo di tromba. Entro a questo si adatta lo stantuffo *pq* che può muoversi d'alto in basso o viceversa, con dolce fregamento, e lo chiude. Vi sono due valvule, una *s* nel piano che separa il tubo d'aspirazione dal corpo di tromba, e l'altra *r* nello stantuffo, le quali ambedue si aprono di basso in alto, e nel gioco della macchina sempre una sta aperta e l'altra chiusa alternativamente. Al principio del moto lo stantuffo essendo in basso, sollevasi per l'azione di una leva ABC che tira in alto la verga *t*; allora sta


F. 1.
F. 2.
F. 3.
F. 4.
F. 5.
F. 6.
F. 7.
F. 8.
F. 9.

chiusa la valvula *r* per effetto della pressione atmosferica, e si apre la valvula *s*, perchè l'aria rarefatta al di sotto dello stantuffo, non può equilibrare lo sforzo dell'aria che è nel tubo d'aspirazione, e l'acqua monta in questo colla forza proveniente dalla differenza tra la pressione atmosferica e quella dell'aria rarefatta nella tromba. Giunto lo stantuffo alla fine della sua corsa, comincia esso a discendere venendo abbassata la leva ABC, e subito si chiude per il proprio peso la valvula del corpo di tromba, e si apre quella *r* dello stantuffo, perchè la sforza l'aria da primo, e poi l'acqua premuta nel corpo di tromba dallo stantuffo; e il fluido monta sopra a questo. Ogni volta che viene alzato lo stantuffo si aspira e si solleva l'acqua stando aperta la valvula *s*, e chiusa quella *r*; ed ogni volta che viene abbassato lo stantuffo si ferma l'acqua al punto cui era sollevata essendo chiusa la valvula *s*, e si obbliga a passare l'acqua al di sopra dello stantuffo per la valvula *r* che è aperta. Montata l'acqua sovra a quello vien fatta traboccare quando lo stantuffo nuovamente inalzasi.

La forza necessaria per tenere in equilibrio lo stantuffo, eguaglia la differenza di pressione che soffrono le sue due superficie superiore ed inferiore. Queste pressioni possono esprimersi (10) per le altezze delle colonne d'acqua che le produrrebbero, e chiamando A l'altezza di $10^{m}3$ di acqua, che rappresenta la pressione atmosferica, sarà la testa dello stantuffo premuta d'alto in basso colla forza $A+PO$, e la parte inferiore sarà premuta di basso in alto con la forza $A-PQ$. Dunque la total pressione che lo spinge al basso è $=PO+PQ=OQ$, e questa è la forza necessaria a tener lo stantuffo in equilibrio, eguale al peso di una colonna d'acqua che ha per base la sezione dello stantuffo, o per altezza quella a cui l'acqua vien sollevata. Quando l'acqua non è arrivata allo stantuffo, questa colonna di liquido deve aversi per alta quanto lo è effettivamente; e va crescendo la forza occorrente a misura che l'acqua si solleva, e diviene costante quando quella comincia a traboccare. A tal forza deve aggiungersi anche il peso dello stantuffo per quanto soglia esser trascurabile in confronto di essa.

Essendo la pressione atmosferica la forza che si diminuisce colla tromba aspirante e che costringe l'acqua ad inalzarsi, non potrà esser superato il suo valore, e perciò con tal tromba non potrà sollevarsi l'acqua a più di $10^{m}3$. Potrà bene l'inalzamento esser minore, anzi lo dovrà, perchè verso quel limite l'acqua aspirata anche in perfettissima tromba non avrebbe tempo di riempiere il vuoto lasciato dallo stantuffo. Ed in quelle di costruzione ordinaria, l'inalzamento sarà reso minore perchè passa dell'acqua tra lo stantuffo e la parete del corpo di tromba, e perchè non discende lo stantuffo fino al fondo del corpo di tromba. Quest'ultimo difetto che suolesi nella costruzione procurar di togliere, fa che se l'aria rimasta tra lo stantuffo e la valvula d'aspirazione non si dilata nel sollevare lo stantuffo più di quello che si era dilatata nella sollevazione precedente, l'acqua non supera la valvula *s*, e la tromba non agisce. Supposto che lo stantuffo rimanga distante dal corpo di tromba mezzo decimetro, e non abbia che la corsa di un decimetro la valvula *s* non potrebbe essere tutt'al più che

68.8 distante dal livello dell'acqua che vuol solleversi. In generale detta d' la distanza dello stantuffo dal fondo del corpo di tromba, e d la corsa dello stantuffo, la valvula d'aspirazione deve esser distante dal livello meno della quantità

$$A\left(1-\frac{d'}{d+d'}\right)$$

Suol togliersi quest' inconveniente ed altri dipendenti da inesattezza di costruzione col riempier d'acqua il corpo di tromba prima di fare agire la macchina. Nelle trombe aspiranti ordinarie non si solleva l'acqua a più di 16 braccia. Nelle altre parti la figura citata può dare gli schiarimenti che occorrono alla costruzione della tromba.

Per l'azione conviene che la forza applicata all'asse dello stantuffo superi quella sopra rammentata per l'equilibrio oltre il valore di tutte le resistenze provenienti dall'attrito dello stantuffo (195) dalle pareti dei tubi, (179) e dai ristringimenti delle valvule (188). Noi ritorneremo sù ciò dopo aver dette le cose principali sugli altri due generi di trombe, e qui come deduzione di quei ragionamenti fisserò che in una tromba aspirante la forza capace di dar moto, cresce di un dodicesimo sù quella teorica dell'equilibrio. Il prodotto per ogni inalzamento di stantuffo è un cilindro d'acqua che ha per base quella dello stantuffo e per altezza la corsa dello stantuffo stesso. Ancora a questo deve però farsi la detrazione di circa due decimi dovuta alle perdite d'acqua per il non combaciare esattamente lo stantuffo colle pareti della tromba, per non aver tempo l'acqua di passare sulla valvula dello stantuffo o sù quella d'aspirazione prima della loro chiusa, per il non tenere queste valvule esattamente, e per altri difetti comuni alle trombe ordinarie. Concludo che non contando la perdita d'effetto nella discesa dello stantuffo si ha nelle salite per rapporto tra l'effetto e il lavoro motore

$E = PA\left(1 - {}^1/_{12} - {}^2/_{10}\right) = 0{,}72PA.$

In tutta l'azione della macchina ci si avvicina a 0,67. PA.

251. *Tromba premente.* — Questa è formata da un corpo di tromba OP (Tav. IX. fig. 2) e da un tubo di salita o cacciata PN. Nel corpo di tromba vi è al fondo come nella precedente la valvula s, ma lo stantuffo pq è cieco, cioè senza valvula. L'altra valvula r è latèralmente verso il fondo del corpo di tromba ove si annesta il tubo di cacciata, e si apre dal corpo di tromba verso il tubo. Il corpo di tromba sta per una certa estensione entro all'acqua da sollevarsi, per cui la sola pressione idrostatica basta ad introdur l'acqua in esso, mentre viene inalzato lo stantuffo. Allorchè questo si abbassa chiudesi la valvula s che è al fondo del corpo di tromba, e si apre l'altra r di cacciata, e l'acqua compressa al di sotto dello stantuffo si solleva fino ad un certo punto per il tubo PN. Nel rialzarsi dello stantuffo vien chiusa la valvula r dalla pressione di quest' acqua sollevata nel tubo, e si apre l'altra s: si riempie il corpo di tromba d'acqua, la quale vien spinta nel tubo di salita quando lo stantuffo si abbassa. Onde dopo un certo numero di corse dello stantuffo, giunge l'acqua alla sommità del tubo, e n'esce per andare al luogo ove era destinata.

Lo stantuffo è sollecitato all'ingiù dalla pressione atmosferica A, ed in senso opposto dalla colonna liquida alta per PN, e dalla stessa pressione atmosferica A. Onde la pressione

di basso in alto supera quella, che dall'alto agisce verso il basso, della quantità PN. Perciò la forza necessaria per tenere in equilibrio lo stantuffo sarà volta verso il basso, ed eguale al peso di un cilindro d'acqua che ha per base la sezione dello stantuffo e per altezza quella della colonna d'acqua sollevata sopra il livello ove trovasi lo stantuffo. Il peso di questo è a vantaggio della potenza.

Si eseguiscono delle trombe prementi ove la pressione (Tav. IX fig. 3) si comunica di basso in alto, perchè si è trovato più vantaggioso agire in questa direzione. Allora lo stantuffo porta la valvula e solleva l'acqua presso a poco come nella tromba aspirante. Che se anche lo stantuffo *pq* (Tav. IX. fig. 3) fosse munito di valvula, e mancando il tubo di salita PN supplisse per quello il corpo di tromba PO, non cesserebbe di essere una tromba premente. Non deve in generale decidersi del genere della tromba dalla costruzione, ma dalle forze che vi agiscono.

Qui la forza motrice provenendo dall'azione che si fa sullo stantuffo non può dirsi che si abbia limite al sollevamento dell'acqua. Nell'abbassarsi dello stantuffo *pq* la potenza non solo ha da vincere la pressione indicata, ma deve anche imprimere moto a tutta la colonna d'acqua spinta in alto, e vincere l'attrito dello stantuffo, e le resistenze date dai tubi, e dalle valvule. Quando poi lo stantuffo si inalza deve esser vinto solamente il suo attrito, e il suo peso, e si ha a vantaggio la pressione con cui l'acqua del serbatojo tende ad entrare nel corpo di tromba. Quindi il più delle volte lo stantuffo sollevasi da per se, cioè senza aggiunta di forza. Spesso queste trombe si fanno agire per getto cioè, un colpo in basso dello stantuffo costringe l'acqua a passare per il tubo PN' ed escire in forma di fontana. Può valutarsi in queste l'effetto delle resistenze circa un venticinquesimo di più che nelle trombe aspiranti; ed il prodotto sarà anche nelle prementi dato per ogni corsa di stantuffo dal volume d'acqua che sta nello spazio del corpo di tromba che si percorre dallo stantuffo diminuito di circa due decimi. Quindi avremo nella sola discesa dello stantuffo per rapporto tra l'effetto ed il lavoro motore 0,68 PA; il quale nel giuoco continuato della tromba si ridurrà ai due terzi di PA.

252. *Canna idraulica e tromba a spirale.* La forma più semplice della tromba premente è presentata dalla Canna idraulica (Tav. IX. fig. 4) cioè da un tubo RS munito in R di una valvula che si apra di basso in alto. Dato a questo un moto alternative di basso in alto mentre la valvula sta sempre sotto al livello del recipiente, l'acqua vi monta e ne trabocca dalla estremità superiore.

La tromba a spirale (Tav. IX fig. 5) non presenta vantaggi nell'applicazione, e solo merita di esser rammentata, perchè offre un ingegnoso modo di produr la pressione. Una spirale B, o un elice con l'asse orizzontale formata da un tubo, sta immersa per metà sott'acqua, e può girare attorno al suo asse senza che si interrompa la sua comunicazione col tubo di salita A. Raccoglie l'apertura del tubo alternativamente acqua ed aria per cui ciascuna spira è solamente nella parte inferiore ripiena di acqua. Ma pel moto rotatorio si mantiene l'acqua più bassa dal lato ove il tubo discende, e per la differenza di livello vien condensata l'aria, che ricomunica la pressione di spira in spira. La somma delle pres-

sioni caccia l'acqua e l'aria per il tubo di salita, e l'aria può spingersi avanti l'acqua perchè il tubo è di stretto diametro.

253. *Tromba aspirante e premente.* Il nome stesso mostra che questa deve essere la riunione delle due precedenti, e resulta dall'aggiungere alla tromba premente il tubo d'aspirazione PQ (Tav. IX. fig. 6). Lo stantuffo è cieco, e le due valvule sono al tubo d'aspirazione e al condotto di salita. Funziona aspirando quando lo stantuffo sale, e premendo quando esso discende. Quello che si è detto (250) per il tubo d'aspirazione deve qui intendersi ripetuto; ed anche la teoria dell'una, e dell'altra tromba riunite, daranno quella che a questa appartiene. Onde nella tromba in equilibrio lo sforzo esercitato sullo stantuffo, quando esso sale eguaglia il peso di un cilindro d'acqua che ha per base quella dello stantuffo, e per altezza la distanza verticale della sua superficie inferiore dal livello del serbatojo. E allorchè lo stantuffo discende, il detto cilindro ha per altezza la distanza verticale della superficie dell'acqua nel condotto di salita alla superficie inferiore dello stantuffo. Con questa macchina adunque potrà sollevarsi l'acqua a qualsivoglia altezza, purchè si abbia forza sufficiente e non si ponga la valvula di aspirazio- più alta di quello che si è detto di sopra. Allorchè può farsi il tubo di aspirazione eguale a quello di salita si ha il vantaggio di soffrire un medesimo sforzo nell'abbassare e nel sollevare lo stantuffo, e di aver uniformità d'azione. In alcune trombe usasi di far servire il corpo di tromba prolungato da tubo di salita, e nella sollevazione dello stantuffo si sofficono i due sforzi (Tav. IX fig. 7).

Per calcolare su questa tromba la forza che conviene aggiungere a quella che dà l'equilibrio onde mantengasi il moto nella macchina, e per dedurne l'effetto utile farò la seguente applicazione numerica, la quale sebbene adattata ad una tromba aspirante e premente, sopprimendo ciò che si dice del tubo di salita, o di quello d'aspirazione mostrerà il calcolo che converrebbe fare per la tromba semplicemente aspirante, o per quella semplicemente premente. Circa il regolare la corsa dello stantuffo avvertirò che nelle grandi trombe, le quali lavorano con moto continuo la corsa è di 1^m20, e se ne fanno da 4 a 6 per minuto, ciò che porta una velocità nello stantuffo da 0^m16 a 0^m24. Non si oltrepassa mai questo limite neppure nelle trombe da incendi. Vi sono pochi casi in cui la velocità salga a 0^m30 ovvero a 0^m35. Sull'ampiezza della corsa riflettiamo che a velocità eguale riesce utile aumentare le lunghezze delle corse col diminuire il numero di quelle che si fanno in un dato tempo. Imperocchè si ha a vincere minor numero di volte l'inerzia dell'acqua contenuta nella tromba; la quantità d'acqua che a ciascuna corsa la valvula d'aspirazione manda sotto di se è minore; e i cangiamenti di direzione i quali producono agitazioni nelle articolazioni del meccanismo, e da ultimo lo deteriorano, sono meno frequenti. Avendo il D' Abuisson sperimentato sovra diverse trombe di ferro fuso con un dinamometro lo sforzo totale nel sollevamento dello stantuffo, ha ritrovato che nel far variare la celerità nel rapporto da 4 a 5, lo sforzo rimaneva sensibilmente lo stesso, per quanto variasse a celerità maggiormente differenti. Quindi tenendo presso a poco costante la velocità ha

ritrovato che il rapporto medio tra la resistenza totale provata, e il peso del cilindro di acqua che dà la pressione sullo stantuffo nello stato d'equilibrio è 1,08. Aggiunto il peso dello stantuffo, e quello della sua verga, egli ritiene come si è detto di sopra per un dodicesimo l'eccesso di una forza sull'altra. Il volume di acqua sollevato in ogni corsa dello stantuffo qui pure teoricamente dovrebbe essere quello del cilindro che ha per base la superficie πR^2 dello stantuffo e per altezza la corsa d di esso. Onde in n corse dovrebbe aversi il volume d'acqua $\pi n R^2 d$. E nelle trombe, benissimo lavorate e tenute, non è stata trovata che una perdita del tre e mezzo per cento. Ma le esperienze fatte da Castel su trombe buonissime con stantuffi del diametro $0^m 271$, e con una corsa di $1^m 15$ han mostrato i resultati seguenti

Corsa in 1'	Prodotto in metri cubi teorico	Prodotto in metri cubi speriment.
5,08	1,541	1,280
5,81	1,606	0,934
5,81	1,551	1,511
5,48	0,919	0,892

Dai quali scorgesi che la perdita aumenta quando la celerità dello stantuffo diminuisce, e che può essa giungere in buone macchine anche al sette per cento. Nelle trombe ordinarie arriva anche a due decimi. Quindi ancora per queste trombe possiamo dedurre che il rapporto tra il lavoro motore e l'effetto utile è di due terzi quando la loro costruzione non sia buonissima.

Si voglia fare il calcolo per una tromba aspirante e premente delle seguenti dimensioni;

Diametro del corpo . . .	$2R = 0^m 52$
Lunghezza del corpo .	$L = 1,80$
Diam. dei tubi seguenti .	$2R' = 0,10$
Lungh. del tubo d'aspiraz.	$L' = 8,64$
Lungh. del tubo di salita	$L'' = 15,57$
Lunghezza della corsa. .	$d = 1,65$
Faccia $4\frac{1}{2}$ inalzamenti in 1' lo stantuffo, la sua celerità media è	$v = 0,22$
Peso delle valvule . . .	$p' = 0,80$
Peso dello stantuffo. . .	$p = 3,50$
Altezza dello stantuffo. .	$e = 0,08$
Attrito di esso	$f = 0,35$

1.° Il peso della colonna d'acqua da elevarsi quando si inalza lo stantuffo, presa la posizione media di esso, sarà

$$1000\,\pi R^2 \left(\tfrac{1}{2} d + L'\right) = 754^k 07$$

e il lavoro meccanico che si ha moltiplicando per d è $1095^{km} 40$.

2.° Il peso della colonna d'acqua da spingersi quando lo stantuffo si abbassa e si trova alla metà della corsa è $1000\,\pi R^2 (L'' - \tfrac{1}{2} d) = 1478^k 54$, e il lavoro $1856^{km} 39$.

3.° Il lavoro consumato dall'attrito dello stantuffo mentre si inalza è $2\,\pi R e d f \,.\, 1000\,(L' + \tfrac{1}{2} d) = 0^{km} 27$, e quando si abbassa $2\,\pi R e d f \,.\, 1000\,(L'' - \tfrac{1}{2} d) = 0^{km} 44$.

4.° Il peso d'acqua che viene teoricamente elevato in 1' è,

$$\frac{4\frac{1}{2} \,.\, \pi R^2 d \,.\, 1000}{60} = 8^k 75.$$

Ed il lavoro perduto nella resistenza del tubo d'aspirazione sarà dato da

$$0,00137 \frac{L'}{2R'} \left(\frac{R^2}{R'^2} p^2 + 0,055 \frac{R}{R'} v \right) P = 0^{km} 55$$

e per quello di salita che varia solo nella lunghezza $0^{km} 98$. Questi due lavori calcolati per 1', volendo estenderli alla durata dell'abbassarsi o alzarsi lo stantuffo si riducono respettivamente a $3^{km} 67$, ed a $6^{km} 53$.

5.° Il lavoro perduto nell'inalzare lo stantuffo è $Pd = 12^{km} 09$, il quale viene restituito nella discesa.

6.° La metà della forza viva la qua-

lo si comunica all'acqua che si trova nel tubo d'aspirazione nell'atto dell'inalzamento dello stantuffo, cioè il lavoro perduto nel vincere l'inerzia di questa massa M d'acqua, sarà la metà della massa nel quadrato della velocità. Qui per semplicizzare e non trascurare il volume d'acqua nel corpo di tromba aumenterò convenientemente la lunghezza del tubo d'aspirazione, e porrò

$$\frac{1}{2}M\frac{R^2v^2}{R'^2} = \frac{\pi R'^2(L'+4\frac{1}{2}d)1000}{2.9,8}\frac{R^2v^2}{R'^2}$$

$$= 3^{km}06.$$

Parimente barattato L' in L'' si avrà da questa formula la perdita di lavoro per vincere l'inerzia della massa d'acqua che sta nel tubo di salita quando lo stantuffo si abbassa, che è $4^{km}41$.

7.° Per le contrazioni che han luogo tanto alla valvula d'aspirazione che a quella di salita, ammetterò che l'apertura della valvula sia un ventesimo della sezione del corpo di tromba, ed avremo

$$\frac{Pv^2}{2g}(20-1)^2 = 0^{km}57$$

8.° Il peso delle valvule è sostenuto per tutto il moto dello stantuffo, perciò avremo la perdita di lavoro $pd = 1^{km}16$. È chiaro che se la valvula fosse ad animella (182) non tutto il peso dovrebbe reggersi dall'acqua.

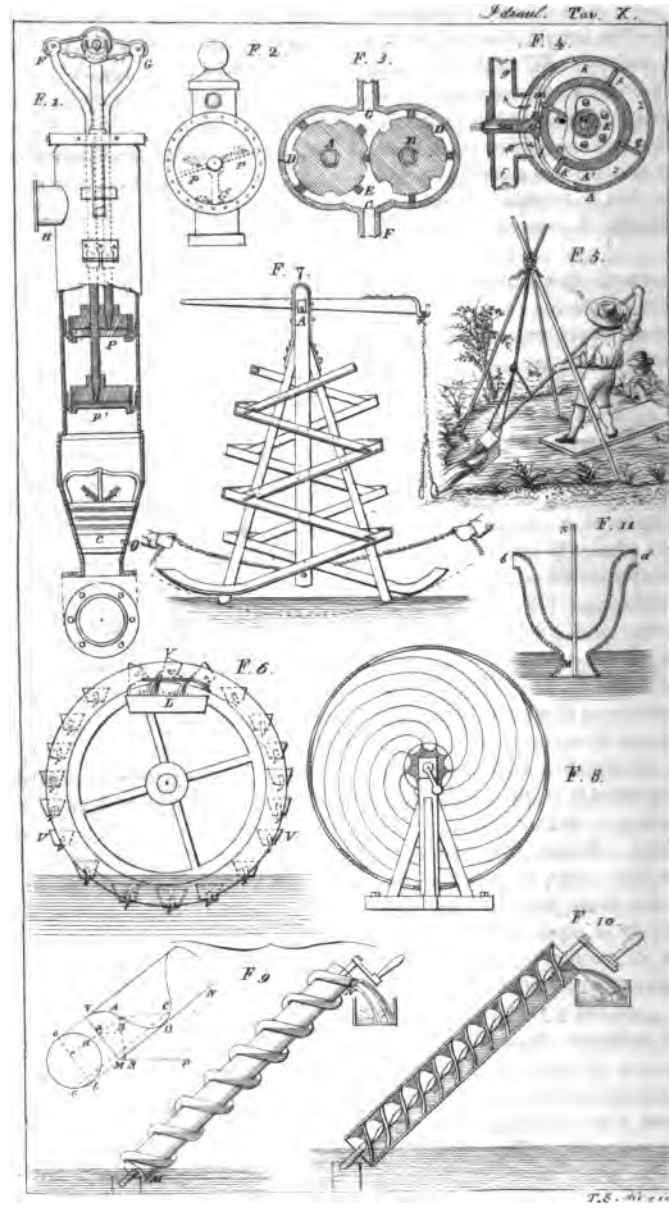
Ecco adunque quali sono i lavori che si han da vincere mentre lo stantuffo si

inalza	1095,40	*abbassa*	1836,39
„	0,27	„	0,44
„	3,67	„	6,55
„	12,69	„	— 12,69
„	3,06	„	4,41
„	0,37	„	0,37
„	1,16	„	1,16
totale	$1114^{km}62$	*totale*	$1836^{km}71$

E poichè in una doppia corsa di stantuffo si levano $116^{k}67$ all'altezza di $24^{m}02$ cioè si ha un lavoro utile di $2802^{km}40$, mentre il lavoro impiegatovi è quello della salita con più quello della discesa dello stantuffo cioè $2951^{km}33$; possiam dire che il lavoro perduto sarebbe per il calcolo un diciottesimo di quello utile. Lo che può benissimo verificarsi in una tromba ben lavorata come noi abbiamo supposto, e può servire a farci conoscere il minimo di perdita del lavoro.

254. *Variazioni nelle costruzioni delle trombe a moto alternativo.* — È tanto interessante questa macchina che non posso tralasciare di accennare altre costruzioni per le trombe aspiranti e prementi. Nella macchina a colonna d'acqua (Tav. VII fig. 3) di Reichenbach la tromba da acqua salata è del genere delle aspiranti e prementi, e lo stantuffo *t* gioca in un corpo di tromba che comunica con altro recipiente ove sono le due valvule d'aspirazione e di salita. Come anche dello stesso genere può dirsi l'altra rappresentata dalla fig. 7 Tav. IX, la quale è disegnata con la scala di proporzione, e con tutte le particolarità che raccomandano questa costruzione, e che le fan dare il nome di tromba elevatoria. La leva piegata a gomito che dà il moto allo stantuffo, combinata con la staffa che agisce sull'asse di esso, mostra come quest'asse possa mantenere nel moto la verticalità. Si dice che nelle miniere di Baviera esiste una tromba elevatrice che porta l'acqua a 370^{m} d'altezza.

Quelle a stantuffo metallico tornito e lucido (Tav. VI. fig. 19) sono giustamente reputate; si sogliono accoppiare per modo che mentre in una sollevasi lo stantuffo si abbassi nell'altra,


Idraul. Tav. X.
F. 1.
F. 2.
F. 3.
F. 4.
F. 5.
F. 6.
F. 7.
F. 8.
F. 9
F. 10.
F. 11
T. S. dis. e inc.

ed alternativamente caccino acqua in un medesimo tubo manovrate con uno stesso bilanciere. Quelle al serbatojo d'acqua di *Toulouse* hanno il corpo di tromba del diam. 0m50, il tubo d'aspirazione 0m16, il tubo di salita 0m27. La tromba detta dei preti ha lo stantuffo (Tav. VI fig. 23) senza fregamento, ed ordinariamente sogliono unirsene due perchè l'una aspiri mentre l'altra comprime.

Fra le trombe accoppiate convien rammentare la tromba a incendio (Tav. IX. fig. 8). Questa ha due corpi AA di tromba in bronzo ordinariamente con 0m12 di diametro, e lunghi 0m60. Gli stantuffi e le valvule sono mostrati dalla figura. Tra i due corpi di tromba esiste un recipiente B metallico chiuso, che mentre riceve alla parte inferiore l'acqua cacciatavi dalle trombe, tiene chiusa e condensata dall'acqua alla parte superiore una massa d'aria. Un tubo C entra in questo recipiente dalla parte superiore di esso, e giunge colla sua estremità aperta quasi al suo fondo. Per questo è cacciata l'aria senza interruzione dall'azione delle trombe e dall'elasticità dell'aria compressa, che da un condotto o tubo girevole vien poi diretta e scagliata sul luogo dell'incendio. I fermagli *zz* servono per prese passandovi le stanghe, onde possa trasportarsi la macchina a guisa di barella; e le tavole *bb* fermate a cerniera si spiegano quando ha da manovrare la macchina, e su di esse montando gli operatori acquista essa fermezza. In questa tromba può studiarsi l'effetto del serbatojo d'aria che è di togliere l'intermittenza al getto: la capacità di esso deve esser tale che l'elasticità dell'aria mantenga uniforme lo sforzo e la velocità del liquido, e inalzi quell'acqua che non è stata cacciata fuori nell'abbassamento dello stantuffo: l'aria nel dilatarsi restituisce tutto il lavoro che aveva assorbito nella compressione, e di più impedisce che si consumi forza viva contro dei corpi duri (*Mec.* 206). Questa macchina dell'inglese Pontifex è quella adottata più comunemente.

Dicesi tromba a doppio effetto allorquando lo stantuffo P gioca nel corpo di tromba AB (Tav. IX fig. 9) chiuso, passandovi l'asse per un collare stoppato. Allora lo stantuffo alzandosi aspira di sotto e preme di sopra, e viceversa aspira di sopra e preme di sotto abbassandosi. Le valvule CD servono per il condotto comune di salita, e le valvule A,B sono quelle dei due condotti d'aspirazione che poi anche essi si riuniscono in un solo. A questa tromba di Defa-Hire io penserei che si potesse utilmente dar moto con un cerchio che abbia il suo centro fuori del mezzo del corpo di tromba AB. Allora lo stantuffo deve essere fermato alla metà dell'asse, e questo deve posare nelle due basi del corpo di tromba per due collari stoppati, e deve essere terminato da due rotelle, e tutto disposto come mostrano le linee punteggiate.

La tromba a doppio stantuffo ben costruita è di molto effetto, e di piccol volume, e suole essere usata nelle navi. Nello stesso corpo di tromba ha due stantuffi P,P' (Tav. X fig. 1) ciascuno colle sue animelle. L'asta dello stantuffo inferiore P' attraversa quello superiore e scorre in un collare di cuojo stoppato, l'altra stà parallela alla prima e poi ricurvandosi entrambe vanno a capitare alle estremità del bilanciere FG che dà loro il moto. Al basso vi è un' otturatore C munito di due valvule che servono a mantenere la

trombe piene d'acqua. Dato moto al bilanciere FG uno stantuffo sale e l'altro discende: chiudonsi le valvule del primo ed aprensi quelle del secondo, e viceversa. Lo stantuffo ascendente inalza l'acqua e l'aspira per farla sgorgare dallo scaricatojo H. Quello che discende lascia passar l'acqua sovra a se, e disponesi per elevare l'acqua quando toccherà ad esso a salire.

Do anche un'esempio di una tromba a stantuffo girato con moto rotatorio alternativo. Muovesi la tramezza PP (Tav. X fig. 2) che ben combacia colle pareti del corpo di tromba, onde viene a diminuire lo spazio che è da un lato e aumentare quello al lato opposto, cioè aspirare in uno e comprimere nell'altro.

255. *Trombe a moto rotatorio.* — Il moto di rotazione continuo produce migliore effetto di quello alternativo. Molti sono i progetti per trombe a moto rotatorio. Descriverò quella di Bramah e quella di Dietz, e darò un semplice cenno di alcune altre.

La tromba inglese di Bramah nel corpo ha due ruote A B (Tav. X fig. 3) di legno tangenti fra loro, e munite ciascuna di quattro pignoni E disposti ai quattro quadranti. Alla metà di ciascuno di questi archi esiste una cavità dove può esattamente girare un pignone dell'altra ruota. I pignoni sono guarniti di cuojo e sfregano colla parete interna concava DCD del corpo di tromba formato da due sezioni di cilindri che hanno per assi quelli delle ruote, questo corpo di tromba è chiuso a tutti i lati con due piastre metalliche che toccano le basi delle ruote, meno che nel punto C ove capita il tubo d'aspirazione F e nel punto G ove è quello di salita. Fatte girare in senso opposto e con egual velocità le due ruote A B col mezzo di un'ingranamento esterno coll'allontanarsi dei pignoni da C si aumenta questo spazio e si aspira, l'acqua passa in C ed ivi all'avvicinarsi de' pignoni verso il tubo è costretta a montare per quello. Ben si comprende che gli assi delle ruote attraversano i fondi del corpo di tromba con collari stoppati, e che i piani di esse devono ben rasentarli, e che tutto questo porta notabili attriti.

In quella di Dietz il corpo di tromba è rimpiazzato da un tamburo di metallo A (Tav. X fig. 4) che ha da 0^m20 a 0^m40 di diametro e da 0^m04 a 0^m08 di grossezza secondo la forza della macchina. Quel tamburo contiene fra i suoi due fondi un secondo tamburo A′ egualmente cilindrico. Questo è mobile attorno all'albero *d*, e nell'interno di esso e attiguo al suo concavo, avvi un'eccentrico E fermato con viti sul tamburo: avvi ancora dalla parte dei tubi *f*, *g*, una larga fascia di ferro *h i k* che in *i* appoggia contro la convessità del tamburo A′, e nella quale sono praticate due aperture *l m*. Per l'una l'acqua passa dal tubo d'aspirazione *f* nell'intervallo *s s s*, che esiste fra i due tamburi, e per l'altra l'acqua entra nel tubo d'ascensione *g*. Il tamburo girevole A′ presenta in tutta la sua grossezza, quattro incastri in croce nei quali scorrono quattro linguette di ferro *n*, *o*, *p*, *q*. Queste come anche la fascia chiudono colla loro larghezza da fondo a fondo del tamburo, ed una delle loro estremità stà sempre appoggiata contro il bordo esterno dell'eccentrico E, e l'altra contro la parete concava dell'intervallo *s s s* per modo che a guisa di tramezze dividono quest' intervallo in recipienti separati. Allorchè nel porre la mac-

chiusa in uno, gira il tamburo A' la linguetta n dopo di aver passato il punto i lascia dietro a se un vuoto che l'acqua entra a riempire facendosi strada per l'apertura *l*. La linguetta *o* che vien dopo spinge avanti a se quest'acqua, le fa percorrere l'intervallo *xxx*, e la costringe ad entrare per l'apertura *m*, ed a salire nel tubo *g*. Così seguitando si ha un moto ed un getto continuo. È chiaro che senza grand' esattezza nella costruzione passerebbe l'acqua da un tamburo all'altro, e si avrebbe scemato l'effetto della macchina. Per le esperienze fatte da Molard e Mallet, l'effetto utile della macchina sarebbe 0,44 PA cioè molto inferiore di quello delle trombe a moto alternativo. Si è variata un poco la costruzione e resa più semplice, ponendo un cilindro eccentrico A' entro al primo tamburo A, e facendo che al girare di questo escano da esso fuori per mezzo di molle ad elastico e possano rientrare in incavi adattati le quattro linguette sfreganti la parte concava del tamburo.

Chiamasi americana una tromba ove è parimente un tamburo o recipiente a basso cilindro con l'asse orizzontale che tien luogo del corpo della macchina. Questo è diviso in tre settori eguali da tre diaframmi che sono collegati coll'asse girevole del corpo di tromba. Sempre due di questi tre diaframmi stanno normali alle due basi del recipiente cilindrico, e nel loro girare coll'asse, uno aspira, e l'altro preme l'acqua. Il terzo diaframma (e ciascuno deve farlo alla sua volta) giunto ad un congegno si gira parallelo alle dette basi, ed entra a dolce attrito in quella parte del tamburo che separa il tubo d'aspirazione da quello di salita, la quale presenta il solo spazio per far passare questo diaframma, e perciò del medesimo vien perfettamente chiusa. Onde non vi è mai comunicazione anche in questa tromba tra il tubo di aspirazione, e quello di salita. Il Flachat pensa che quando questa tromba si trova in costruzione precisa, possa il suo effetto ascendere anche al 60, e al 65 per cento del lavoro motore.

Delle macchine elevatorie a recipienti, o di quelle analoghe ai ricevitori.

256. *Di questa analogia. Dei secchi, e della gottazza olandese. Della Noria e delle ruote à cassette imperniate.* — Quegli organi che nei ricevitori prendono l'acqua per condurla a basso, possono egualmente raccoglierla per portarla in alto purchè si inverta del pari l'effetto dell'albero motore, cioè esso non muova ma venga mosso. Di qui ne viene che la maggior parte dei ricevitori possono fare da macchine elevatrici e viceversa. Nelle trombe questa reciprocità non esiste, perchè il moto alternativo si presta meno di quello continuo al raccogliere la forza motrice.

L'inalzamento dell'acqua con secchi, ha pur bisogno di esser fatto con cura perchè se ne ottenga il massimo effetto. Tenendo il secchio a mano quando l'inalzamento è di 1m80, un uomo secondo Peronnet ne vuota 34 litri per minuto, e il doppio quando l'inalzamento è di un metro. Il termine medio sarebbe 32 metri cubi di acqua in una giornata di 8 ore di lavoro, ed esso mostra come questo modo d'impiego della forza dell'uomo sia svantaggioso. Fra le macchine d'esaurimento per elevar l'acqua a piccola altezza utile è la

gottezza o cucchiaja di legno olandese (Tav. X. fig. 5) la quale legata e bilanciata con corde ad un castello vien manovrata con un lungo manico da due uomini e dà m. c. 185 di acqua in un giorno ad $1^{m}50$ d'altezza. Per inalzar l'acqua a 5, ovvero 6 metri e per poche ore, si usa convenientemente un secchio affidato all'estremità di una leva, che porta all'altra estremità un peso. Questo equilibra la metà del carico, per cui l'operaio deve al discendere e all'inalzare, vincere uno sforzo eguale alla metà del peso del secchio pieno, e può inalzare 12, 15 ed anche 20 metri cubi di acqua. Per le profondità maggiori si impiegheranno i secchi sospendendone due ad un verricello all'estremità di una corda, onde uno s'alzi mentre l'altro discende, e facendo agire gli operai sopra manovelle. Allora siccome l'effetto sulla manovella di un' uomo è 173000^{km}, possiam dire che detratta qualche cosa per l'attrito e rigidezza del canapo, un' uomo darà in otto ore di lavoro 160000^{km}.

Migliore sarà l'uso di una Noria (Tav. VII fig. 4) nella quale potranno impiegarsi anche motori diversi dall'uomo. Questa macchina analoga alla catena di secchio (208) si forma con sbarre di ferro eguali, le quali girano attorno ad un' asse, raggiunte insieme a cerniera con un pernio, e passano ciascuna per il centro di un secchio e lo sostengono. Un tamburo a scheletro A ottangolare fatto girare dall'albero motore, raccoglie una alla volta, e lascia scaricare il secchio in un incavo che è dentro al tamburo, da dove l'acqua si riunisce in un condotto. Da noi è molto in uso questa macchina che mossa da un cavallo dicesi bindolo, ha le cassette di legno e da corde sostenute. Una Noria poco dissimile da quella sopra descritta mossa da un cavallo di forza ordinaria, inalza 25^{mc} a $5^{m}15$ di altezza. E ritenuto il lavoro medio del cavallo che agisce ad un maneggio per 1166400^{km} in una giornata di otto ore di lavoro, si sarebbe avuto per effetto 0,81 P A; più di quello che si soglia a tal macchina assegnare (*Introd.* 203). Suol crescere l'effetto all'aumentare dell'altezza a cui si eleva l'acqua.

Si fa una ruota guarnita (Tav. X fig. 6) di cassette imperniate che imita moltissimo la Noria, e può avere il vantaggio di esser mossa guarnendola di pale dalla corrente stessa dalla quale si trae l'acqua per inalzarla. Le cassette V sono fissate fra due corone e sostenute da un pernio orizzontale sul quale si bilicano, rimanendo sempre verticali, finchè non incontrino appositi ostacoli che le facciano rivoltare e scaricar l'acqua sovra una doccia L. Questa macchina è di facile uso particolarmente per le non grandi altezze.

257. *Macchine dei cappelletti.* — *Ruote a pale in corsia circolare.* — Il bindolo a cappelletti (Tav. VII fig. 5) per elevar l'acqua differisce come mostrano le linee punteggiate dall'analogo che abbiamo descritta come ricevitore per avere il tubo ove si introducono i cappelletti tutto cilindrico, del diametro da $0^{m}15$ a $0^{m}16$. Anche il cuoio dei cappelletti vi si fa più preciso alla capacità del tubo. Talvolta si usano dei coccoli o palle infilate a distanza nella catena, dalle quali forse ne è venuto alla macchina il nome di rosario idraulico. Sta fissa una ruota nell'interno del pozzo dal quale vuol trarsi l'acqua, e guida i cappelletti all'ingresso del tubo, mentre

li tira in alto lungo questo il tamburo esagono superiore. L'acqua giunge ad empire il tubo e trabocca dalla sua apertura superiore. Alcune volte si usa di porre i cappelletti in un condotto inclinato per guidar l'acqua più lentamente, e perchè il peso di esse non gravità tutto su' cappelletti: pure ve ne gravita sempre una porzione che corrisponde all'altezza a cui si eleva l'acqua onde non presentano vantaggio i cappelletti inclinati su quelli verticali. Questa macchina si usa utilmente negli esaurimenti e quando si ha da elevar l'acqua a più di 4^m. Per evitare perdita si suole dare alla macchina una velocità da 1^m5 a 2^m. Il termine medio dell'effetto utile ottenuto dai cappelletti verticali mediante la forza dell'uomo è di 119880^{kmc} e da quelli obliqui di 89000^{km} cioè gli uni danno 0,77 PA, e gli altri 0,58 PA che il Navier ridurrebbe (205) anche a meno di due quinti.

Per altezze piccole, e quando può aversi notabile velocità, tornerà proficuo usare una ruota a pale, cinta da condotto circolare (212). Le pale raccolgono l'acqua dal basso del condotto, e serrate dalle pareti di esso l'inalzano per la sua curva, e la fan traboccare dalla soglia superiore. Questa ruota mossa da una macchina a vapore, è usata con buon successo anche da noi pel disseccamento di terreni che si vogliono rendere suscettivi di coltivazione: il suo uso è da preferirsi anche a quello delle trombe, quando si vuole inalzata grandissima copia di acqua perchè richiede un mantenimento di ben poco costo, e la natura del suo moto è analoga a quella dei volanti, e perciò facile, regolare e senza scosse. La teoria di questa ruota si deduce dal porre il lavoro motore che indicherò con PV, eguale al lavoro utile ottenuto, aumentato la metà della forza viva perduta. Ora chiamiamo p il peso dell'acqua sollevato in 1', ed A l'altezza; V la velocità della ruota nel centro della pala, e v quella colla quale l'acqua affluisce nel luogo ove si leva. Avremo

$$PV = pA + {}^1/_2 \frac{P}{g} (V - v)^2$$

da dove scorgesi che trascurati gli attriti, l'effetto utile è eguale al lavoro motore quando $V = v$, ma v non può essere che piccola, e V deve come si è detto essere assai grande. Supponiamo che si abbia ad inalzare l'acqua a 2^m e che si dia alla ruota la velocità 4^m, per cui ne venga $v = 1^m$, avremo per effetto utile 0,54 del lavoro motore.

Delle macchine elevatorie a piano inclinato, a forza centrifuga, ed a capillarità o adesione.

258. *Bilancia a zigzag, e timpano.* — Alla fine di ogni canaletta (Tav. X. fig. 7) esiste una valvula: oscillando l'apparecchio attorno al punto A l'acqua si eleva successivamente da un canaletto nell'altro. La figura mostra due zigzag disposti in senso contrario per evitare la perdita di tempo. Pure non può sperarsi un resultato molto vantaggioso da questa macchina di Merel per gli urti che l'acqua deve soffrire contro l'estremità de' tubi.

Di ben altro vantaggio è il timpano. Io non parlo di quello descritto da Vitruvio che ha le tramezze rettilinee nella direzione dei raggi della ruota, descriverò quello (Tav. X fig. 8) proposto da Lafaye. Questa ruota raccoglie l'acqua alla parte inferiore sulla circonferenza, e la solleva al centro per mezzo di canali curvi secondo la sviluppata del circolo che

à all'asse. L'acqua prendendo a poco alla volta la velocità della macchina può dirsi che non fa perdere forza viva, e per la detta curva il centro di gravità di essa, si trova sempre sensibilmente sulla stessa verticale, onde l'azione della resistenza è uniforme. Per le esperienze di Peronnet il prodotto è circa 0,80 del lavoro motore, e perciò superiore a quello che può ottenersi da altre macchine elevatorie.

250. *Vite d'Archimede.* — Diverse sono le disposizioni che si danno alle parti di questa macchina, e possono anche cambiarne notabilmente il punto di vista: comincerò dal supporre che un tubo di diametro assai piccolo sia avvolto in elice (Tav. X fig. 9) sovra un cilindro inclinato, al quale si imprima moto di rotazione. Sia l'estremità inferiore M della vite al di sotto del livello nel recipiente di una quantità minore dell'altezza della base del cilindro. Entrerà alternativamente acqua e aria nel tubo, e l'acqua terrà sempre la parte inferiore delle spire ABC che chiamiamo arco idroforo. La giusta posizione della macchina richiede che la bocca del tubo nell'escire dall'acqua prenda l'altezza che ha l'arco idroforo nella prima spira. E dopo alcuni giri comincerà a sgorgare dall'apertura superiore N ad intermittenza l'acqua, avanzandosi essa di spira in spira come se cadesse per un piano inclinato. Infatti più sollevasi nel girare del cilindro un punto A del tubo, di quello che si inalzi l'acqua col suo avanzarsi. Onde tutto ciò accada, devono essere determinate, la situazione dell'elice e la lunghezza dell'arco idroforo. Per la prima conviene che l'angolo NMP$=\alpha$ della elevazione sia minore dell'angolo dell'inclinazione dell'elice all'asse che indicherò con BMV$=\beta$. Per la seconda ammesso che il moto rotatorio della macchina sia lento e non agisca sensibilmente, la forza centrifuga, l'arco idroforo avrà la lunghezza che vien fissata dalla orizzontale AC condotta dal punto A più alto che può prendere l'acqua. Ora ritenghiamo uguale all'unità il raggio del cilindro, e che il tubo sia strettissimo designando col circolo $oabc$ la base del cilindro.

AS $=$ AR $+$ RS, ma AR $= \overline{Aa}\ sen\ \alpha = \overline{oa}\ cot\beta\ sen\ \alpha$ ed RS$=$ aQ$=$ aM$\cos\alpha = (1+\cos\overline{oa})\cos\alpha$ perciò l'espressione generale dell'altezza di un punto A dell'elice sull'orizzonte è

$$\overline{oa}.\ cot\beta\ sen\ \alpha + (1+\cos\overline{oa})\cos\alpha$$

e prendendo di questa espressione il massimo, si avrà l'altezza del punto A ove principia l'arco idroforo: il massimo dà $sen\ \overline{oa} = cot\beta\ tang\ \alpha$, cioè determina il valore di $\overline{oa}$. L'altezza che può avere questo punto A, varia perciò secondo la forma e la posizione della coclea. Projettato anche il punto C sulla base in o, l'arco di cerchio $oabc$ corrispondente all'arco d'elice ABC sarà $\pi + \overline{bc}$, e per l'elevazione del punto C al di sopra del piano orizzontale si avrà dalla formula sopra stabilita

$$(\pi+\overline{bc})\ cot\beta\ sen\ \alpha + \left[1+\cos(\pi+\overline{bc})\right]\cos\alpha$$

sappiamo che questa è eguale a quella del punto A, perciò eguagliando le due espressioni dopo di aver sostituita la condizione del *massimum* e riducendo si ha

$$(\pi+\overline{bc})\ sen\ \overline{oa} + \cos(\pi+\overline{bc}) = \overline{oa}\ sen\ \overline{oa} + \cos\overline{oa}$$

e da questa equazione con successive sostituzioni si otterrà il valore $\overline{bc}$, quindi si avrà dato il valore dell'arco circolare abc corrispondente a quello idrofero x; e questo gia-

che per la proprietà dell'elice si ha

$$x = \frac{abc}{sen\,\beta}$$

Il Venturoli lo ha determinato per la coclea di Vitruvio e per quella del Bernulli. Nell'una si ha l'angolo BMV = 45° ed NMP = 56°52′, ed egli trova per lunghezza dell'arco idroforo 0,35 L, essendo L la lunghezza dell'intera spira. Nell'altra si ha BMV=85°. NMP=62°, e trova l'arco idroforo = 0,77 L; e qui il valore L dell'intera spira è minore.

La portata della coclea si ha per ogni giro dalla capacità dell'arco idroforo, onde nelle due rammentate coclee, supposto il tubo di egual sezione, ed avendosi L = 2 π *cosec.* BMV, le portate staranno :: 3,11 : 4,87.

L'acqua entra nel tubo senz'urto, e non ha alcuna velocità quando esce, perchè fatta astrazione dalle resistenze essa prende nel discendere nel tubo velocità relativa eguale ed opposta a quella dei punti del tubo. Per conseguenza in questa macchina teoricamente parlando non si ha forza viva perduta. Sia P lo sforzo del motore che suppongo applicato alla circonferenza della base del cilindro sul quale l'elice è tracciata; R il raggio di questo cilindro; Q il volume d'acqua contenuto nell'arco idroforo; *n* il numero delle spire del tubo che forma la coclea. L'altezza del passo della vite è 2 π R *cotang.* BMV, e perciò l'altezza verticale a cui si elevano gli archi idrofori per ogni giro del cilindro è

$$2\pi R\, cotang\, BMV \times sen\, NMP.$$

Ora il lavoro motore in un giro deve eguagliare il sollevamento del carico di tutti gli archi idrofori per quest'altezza perciò si avrà

$$P 2\pi R = n\, 1000 Q\, 2\pi R\, cotang\, BMV\, sen\, NMP$$

da dove può dedursi il valore dello sforzo P. E indicando con A l'altezza a cui viene elevata l'acqua si deduce

$$P.2\pi R = n.1000\, Q\, A$$

cioè che il lavoro motore eguaglia quello utile, e ne occorre per un giro quanto è il peso dell'acqua contenuta nell'arco idroforo moltiplicato per l'altezza alla quale si eleva l'acqua.

Quando si dia notabil velocità di rotazione all'albero della coclea agirà anche la forza centrifuga, e si potrà tener sott'acqua tutta la base inferiore del cilindro, e purchè abbiasi abbastanza velocità di rotazione potrà porsi ancora l'asse verticale senza che la coclea cessi di elevare l'acqua. Infatti si disse (254) qual fosse il lavoro della forza centrifuga in una macchina, e qui si ridurrà

$$\tfrac{1}{2} M \omega^2 R^2$$

onde quando si inalzasse l'acqua ad un'altezza minore di

$$\frac{\omega^2 R^2}{2g}$$

si otterrebbe l'effetto anche per sola la forza centrifuga. Il resultato dell'inalzamento dell'acqua a coclea verticale, che da diversi è stato avvertito, devesi a due cagioni. In parte alla forza centrifuga la quale però male agisce essendochè la figura del tubo non costringe l'acqua a rotare colla stessa velocità della macchina, e l'inclinazione dell'asse dà irregolarità al moto dell'acqua. In parte è dovuto all'agir della coclea col principio dei recipienti analogo a quello col quale l'elicoide serve da ricevitore di forza (247). La resistenza che l'acqua sollevata trova a ricadere in basso per esser chiusa l'apertura inferiore da nuova quantità d'acqua che sempre vi si raccoglie, è misurata dall'urto che si ha coll'acqua del recipiente il quale pure è proporzionale alla suddetta altezza dovuta alla velocità di rotazione (152), e può

far sostenere ed inalzare una colonna d'acqua che l'equilibri. Inoltre la superficie elicoide solleva l'acqua, come farebbe un piano inclinato od una biétta che entrasse sotto un solido, mentre essa per la sua inerzia tende a star ferma cioè a non secondare nel moto la detta superficie. Un poco meglio sebben sempre scarso, questo resultato si otterrà col variare l'apparato nel seguente modo, e col fare la vite non cilindrica ma a guisa di cono divergente in alto.

Generalmente si usa, per non aggravare troppo l'asse, di separare quello e la superficie elicoide che determina il tubo dall'involucro esterno, e tenuto fermo quest'ultimo si fa girare solo la detta superficie: allora vien chiamata vite olandese (Tav. X fig. 10).

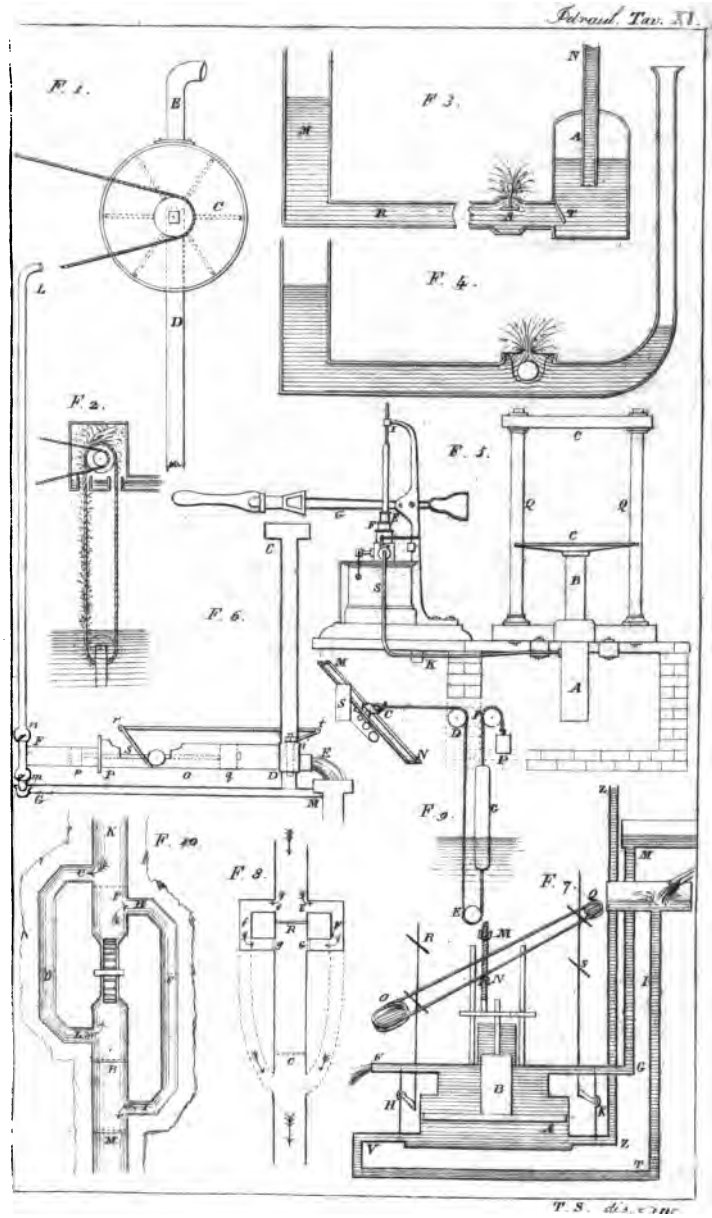
Dalle esperienze che sono state fatte, resulta che è più dannosa la molta velocità quando immerge tutta la base che quando ne è emersa la porzione conveniente; in quest'ultimo caso può anche fare un cento di giri per minuto, senza che se ne abbia diminuzione nella portata. Ancor quando soli 50 giri faceva in un minuto si è ottenuta dalla vite tutta immersa circa un terzo meno della portata che dà la vite ben collocata. La regola pratica è di porre fuor d'acqua per ben piccola porzione la sommità della base del cilindro. Sopra coclee di 0^m32 a 0^m35 di diametro, che suole essere il massimo, resulta che l'angolo migliore di inclinazione è di 50°, e quello fatto dall'elice coll'asse del cilindro suole esser vario da 54° a 60°. Si suol porre il diametro del cilindro interno $^2/_5$ dell'esterno, e la lunghezza da 12 a 18 volte, il diametro. Facendo agire alla vite degli uomini non si ha vantaggio, e confrontando l'acqua inalzata al lavoro che essi fanno alla manovella, si trova 0,55. Più utile è impiegarvi altri motori.

260 *Ruota e tromba a forza centrifuga*. — È formata da un'insieme di tubi *ab*, *cd*.. (Tav. X fig. 11), o da un vaso diviso da tramezze che compongono un sistema girevole attorno ad un asse verticale MN. Quando le si imprime una celere rotazione l'acqua del recipiente inferiore M s'introduce nella ruota, vi si eleva per effetto della forza centrifuga, ed esce dai fori *b*, *d*,.. collocati verso la sommità di quella. Si procura che sia dilatata l'apertura M, onde l'acqua entri nella ruota senza contrazione, e che ne esca per tubi orizzontali e volti contro il movimento della ruota.

Si fanno delle trombe a forza centrifuga che imitano le aspiranti e prementi senza stantuffi. Un cilindro (Tav. XI fig. 1) contiene un volante ad ali C il quale gira con molta velocità: e si unisce per la sua parte centrale al tubo d'aspirazione D, e per la sua superficie convessa al tubo E d'elevazione. Al girare del volante si fa un vuoto nel mezzo ove per aspirazione si richiama l'acqua dal tubo D, e verso la circonferenza viene essa pressata, e perciò nel tubo E.

La dottrina di questa macchina è basata sul principio che abbiamo sopra (259) esposto. La velocità di rotazione ωR produce una pressione ed un inalzamento, corrispondenti all'altezza ad essa voluta.

261. *Macchina a corda*. — Componesi questa di una o più corde senza fine (Tav. XI fig. 2) collocate una accanto all'altra che passano sovra una puleggia fissa in alto ove vuole l'acqua sollevarsi, e per altra



T. S. dis. e inc.

simile puleggia in basso entro al recipiente dal quale si attinge. Allorchè viene impresso alla puleggia superiore, e per conseguenza alla corda un celere moto rotatorio, l'acqua s' inalza seguendo le parti ascendenti della corda per effetto dell' aderenza, e per la comunicazione laterale (157) di moto da strato in strato, ed è poi scagliata dalla forza centrifuga lungo la tangente della puleggia superiore ove raccogliesi in conveniente condotto. Questa macchina, dovuta al Vera, sebbene non presenti gran vantaggio per la difficoltà di imprimere quel moto celere che occorre, pure è sempre interessante per la sua semplicità, e per la gran copia d'acqua che somministra. In luogo di corde comuni vi si adattano corde di paglia, ed anche catene metalliche, ed il chiarissimo sig. Turchini di Firenze suggerisce di usarvi dei nastri equidistanti.

261. *Osservazioni generali sovra le differenti macchine elevatorie.* — Per l'inalzamento dell' acqua ad altezze piccole, saranno preferibili le gottazze olandesi (256) se trattasi di usare la forza dell' uomo, o il timpano (258) o la vite d'Archimede (259); queste due, come pure la ruota a cassette imperniate (256), potrebbero muoversi anche con la forza di animali o dell' acqua. Per quest' ultimo motore l'ariete (262) tiene il primo posto fra le macchine idrauliche quando l' altezza dell' inalzamento dell'acqua non è considerevole per rapporto all'altezza della caduta: seppure tal macchina non sia da riserbarsi come si è fatto fin ora, e come io credo, al sollevamento di piccole masse d'acqua. Trattandosi di usare la forza del vapore darei la preferenza alla ruota a pale in corsia circolare (257). Per altezze maggiori si preferiranno i bindoli a cassette (256, 257) e a cappelletti, le trombe e l'ariete; ma tranne le prime, quest' ultime, ed in generale le macchine che hanno valvule non sono da usarsi sovra acque torbide perchè le materie terrose possono impedire l' azione delle valvule. Le trombe (250 *e seg.*) posseggono il vantaggio di potere essere traslocate e collocate in poco spazio: non vogliono però un motore che dia troppa velocità; sebbene si uniscano spesso anche alle macchine a vapore. Meglio le grandi velocità converrebbero alla macchina a corda (261), ed a quella a forza centrifuga (260). Per le grandissime altezze sono da proporsi le trombe aspiranti prementi. I bindoli a cappelletti richiedono delle profonde pozze, ed hanno pur l'inconveniente di guastarsi colle sabbie e altre materie che può l' acqua portare. Il timpano e la coclea presentano ben poco dispendio nel consumo della macchina, ma sono ambedue molto pesanti quando l'inalzamento dell' acqua vuol farsi a più di tre metri, ed hanno anche il difetto di far ricader l' acqua di una certa altezza per darne lo sgorgo. Quest' altezza perduta si ha in tutte le macchine, minore però nelle trombe, e nei cappelletti. Il confronto tra i cappelletti e le trombe porta la preferenza in quelli, e per il minor consumo della macchina, e per il moto regolare che si ha nei pezzi della macchina e nella massa d'acqua. Che se fosse possibile unire in una sola macchina i pregi dei cappelletti e delle trombe si farebbe un gran vantaggio a questa parte di scienza. La tromba a forza centrifuga, e la macchina a corda uniscono alcuni pregi di ambedue quelle macchine, ma son poi nel

principio della loro azione troppo difettose. Parmi utile in questo luogo riferire i seguenti resultati che il chiarissimo Cavalieri ha dedotti da esperienze circa la spesa occorrente nelle differenti macchine per sollevare un metro cubo di acqua ad un metro di altezza, ove m rappresenta il prezzo dell'opera giornaliera di un'uomo, e l'unità monetaria è il baiocco romano; il secondo numero indica la spesa per il consumo della macchina.

Secchie . . . . . 0,0218 m +0,02
Gottazze a castello . 0,0065 m +0,02
Noria. . . . . 0,0072 m +0,06
Cappelletti vert. . . 0,0085 m +0,12
Cappelletti inclin. . 0,0140 m +0,14
Timpano. . . . . 0,0055 m +0,03
Coclea d'Archim. . 0,0111 m +0,04
Trombe . . . . . 0,0140 m +0,07

Nei Cappelletti inclinati il suddetto Autore ritrova che rappresentando p la mercede giornaliera di un cavaliere, e q il nolo giornaliero del cavallo la suddetta spesa è

$$0,0092p + 0,0022q + 0,04$$

Delle Macchine elevatorie per urto, e che funzionano anche da ricevitori.

202. *Ariete idraulico*. — L'ariete idraulico suole attribuirsi a Montgolfier, ma in realtà sembra che fosse ritrovato da Whitehurs coll'unica differenza di un rubinetto in luogo della valvula d'arresto. Dalla conserva M (Tav. XI fig. 3) giunge l'acqua, pel condotto R, detto corpo dell'ariete, alla testa ove è la parte che mostra il giuoco della macchina. Qui avvi una valvula S detta di arresto, ed un'altra T detta di salita. A questa comunica le campana ad aria dentro la quale pone il tubo di salita N. Corre l'acqua per il corpo d'ariete R, e comincia a sgorgare da S; quando la sua velocità è cresciuta, l'acqua si chiude avanti a se la valvula S, e non potendo perdere tutt'ad un tratto il moto, colla forza viva che le rimane urta e sforza la valvula T; la apre e si introduce entro la campana A. Quando ne è entrata in quella per una certa quantità, il peso dell'acqua stessa chiude la valvula T, e tutto è per un momento in quiete. Allora riapresi da per se la valvula S o per il proprio peso, o per una molla giacchè non è più tanto premuta, e per questa ricomincia a fluire l'acqua. Di nuovo acquistata che ha essa velocità, si chiude la valvula S, e per urto apre quella T, e si introduce nuova acqua nel tubo. Succede l'equilibrio, si richiude la valvula T, e ricomincia di nuovo il giuoco. Il quale facilmente comprendesi, porterà a riempiere con successive aperture della valvula di salita, o colpi dell'ariete tutto il tubo di salita, e fin d'allora comincerà ad aversi il liquido inalzato a questa altezza. Nè tale altezza avrà limite perchè nel momento che si è chiusa la valvula di salita e che la massa d'acqua sù d'essa passata si è posta in equilibrio, qualunque sia la sua grandezza ed il suo peso ad un'urto di basso in alto, dovrà sempre porsi in moto, e lasciare aprire per un certo tempo la valvula T. Solo andrà scemando il tempo che stà aperta la valvula di salita a misura che essa è di maggior diametro, e che ha sovra a se maggior massa d'acqua; non altrimenti che per minor tratto si solleva il sasso che viene urtato con determinata forza da basso in alto a misura che è di maggior mole. La forza che produce l'urto è la forza viva che ha acquistata l'acqua, correndo per il condotto R.

Indichiamo con t' il tempo che sta aperta la valvula di salita, e con s la sua sezione o ampiezza. A' rappresenti l'altezza del tubo di salita, ed A quella del livello del serbatojo. V la velocità che acquista l'acqua nel corpo dell'ariete, ed M la massa d'acqua che si pone in movimento. Facendo astrazione, dalle resistenze, sarà $\frac{1}{2} gt'^2$ l'altezza a cui sollevasi per ogni colpo la massa d'acqua passata sopra la valvula di salita, e perciò $1000^k s A' . \frac{1}{2} gt'^2$ sarà il lavoro meccanico che deve eguagliare la metà della forza viva motrice MV^2.

Nel tempo t che l'acqua impiega ad acquistare la velocità V, si ha lo sgorgo dal corpo dell'ariete; e per trovare quant'acqua ne escirà osservo, che in ogni istante il lavoro meccanico MgA della gravità diminuito della metà della forza viva Mv^2 che si comunica all'acqua, deve eguagliare il lavoro meccanico impiegato della forza acceleratrice φ che rimane all'acqua nel farle percorrere la lunghezza L del corpo dell'ariete, cioè $MgA - \frac{1}{2} Mv^2 = M\varphi L$, ma (*Mecc.* 180) essendo

$$\varphi = \frac{dv}{dt} \text{ abbiamo } dt = \frac{2Ldv}{2Ag - v^2}$$

Ora indicando con S l'apertura della valvula d'arresto, la quantità d'acqua che ne esce nel tempo t che essa sta aperta, sarà

$$1000\, S \int_0^V v dt = 1000\, SL \log \frac{2Ag}{2Ag - V^2}$$

Perciò l'acqua consumata in ogni colpo dell'ariete, è

$$Q = \frac{1}{2} \frac{MV^2}{A'} + SL \log \frac{2Ag}{2Ag - V^2}$$

e l'acqua sollevata, è

$$q = s \frac{1}{2} gt'^2 = \frac{1}{2} \frac{MV^2}{A'}$$

Adunque il rapporto tra l'effetto ed il lavoro motore si trova

$$\frac{qA'}{QA} = \frac{\frac{1}{2} MV^2}{\frac{1}{2} MV^2 + 1000 SLA' \log \frac{2gA}{2gA - V^2}}$$

1. Di qui si deduce che mai potrà essere la velocità che acquista l'acqua nel corpo dell'ariete quella dovuta a tutto il carico A.

2. Che la durata de' tempi t' t è dipendente dalle quantità M, L, V, le quali devono aversi per indeterminate poichè non può sapersi fino a qual punto del tubo si propaga l'urto, o qual massa di acqua è in tempo di mettersi in movimento, o qual velocità può acquistare. Possono esse determinarsi col mezzo dei resultati sperimentali; mai però con molta esattezza, perchè si comprende che la diversa costruzione della macchina, e le altre particolarità sotto le quali essa agisce, molto influiscono a dare a queste quantità valori differenti.

3. Che sempre deve essere V^2 una quantità proporzionale a $2gA$ e perciò indicando con δ una quantità costante, avremo $V^2 = \delta . 2gA$. Parimente la lunghezza L del corpo dell'ariete deve essere in un dato rapporto coll'altezza A', e porremo $L = \gamma A'$. La massa M proporzionale sarà al volume del corpo dell'ariete, e si potrà porre

$$\frac{1}{2} MV^2 = \delta \gamma . 1000 . SAA'$$

e per conseguenza fatto

$$m = \frac{1}{\delta} \log \frac{1}{1-\delta} \text{ si ha } \frac{qA'}{QA} = \frac{1}{1 + m \frac{A'}{A}}$$

Mi è sembrato che assai conveniente possa essere il prendere $m = 0,1$ sebbene come ho detto un tal valore debba variare colle diverse particolarità che accompagnano l'esperienza. Onde δ è piccola frazione.

4. Che quanto minor tempo stà aperta la valvula di arresto tanto più il rapporto tra il lavoro motore

e l'effetto si avvicina all'unità. Per sollevar l'acqua a piccola altezza, l'ariete è macchina pregiabilissima.

Coerente a queste osservazioni teoriche è ciò che deducesi dalle esperienze di Eytelwein. Infatti da queste rilevasi che

I. Cresce l'effetto al crescere della lunghezza del corpo dell'ariete, e mai deve esser questa minore di $^3/_4$ dell'altezza alla quale l'acqua si inalza.

II. Il diametro del corpo resulta conveniente quando è $1,7\sqrt{Q}$ essendo Q il volume di acqua somministrato in 1″ dalla corrente motrice.

III. Il diametro del condotto d'ascensione può farsi eguale alla metà di quello che ha il corpo dell'ariete.

IV. Giova che le due valvule sieno vicinissime l'una all'altra..

V. È parimente essenziale che l'apertura della valvula d'arresto non sia più piccola della sezione del corpo dell'ariete, e sia di piccol peso, cioè richieda poca forza per chiudersi.

VI. I resultati sperimentali da esso ottenuti sarebbero con assai esattezza rappresentati dalla formula

$$\frac{qA'}{QA} = 1,42 - 0,28\sqrt{\frac{A'}{A}}$$

Io riporterò le dimensioni dell'ariete che Eytelwein riguardò come disposto nella maniera la più vantaggiosa, e i resultati che ne ha avuti.

Lunghezza del corpo. . . . . $15^m,55$
Diametro. . . . . $0^m,0567$
Capacità del recipiente ad aria . . . . . $0^{mmm},0088$
Area dell'apertura della valvula d'arresto . . . . . $0^m,0024$
Quest'area nella prima esperienza era . . . . . $0^{mm},0040$

colpi in 1″	altezza A	altezza A′	$\frac{qA'}{QA}$
66	$3^m,066$	$8^m,017$	0,900
54	3,009	9,86	0,873
50	3,027	11,78	0,850
52	2,437	9,86	0,847
42	2,262	11,78	0,787
26	1,386	9,86	0,672
23	1,255	11,78	0,548
17	0,915	9,81	0,473
15	0,981	11,78	0,352
10	0,601	11,78	0,181

263. *Ariete ad una sola valvula, e colonna oscillante.* — In un sifone rivolto in alto che abbia una branca di molto maggior sezione dell'altra, fatta oscillar l'acqua si hanno sollevamenti più grandi nella branca stretta che in quella ampia. Partendosi da questo principio il sig. De Caligny propose un'ariete (Tav. XI fig. 4) senza la valvula al tubo di salita, ed anche senza la conserva d'aria. Consisterebbe questo nell'ordinario corpo d'ariete munito della valvula d'arresto, il quale a piccola distanza da essa si curva in alto, e diminuendo senza brusche variazioni la sua sezione, si converte nel tubo di salita. L'acqua correrà per il corpo della macchina, ed acquistata la velocità conveniente, chiuderà la valvula, si introdurrà nel tubo di salita e traboccherà dalla sommità che supponesi ad adattata altezza. Dopo il getto si aprirà per il proprio peso la valvula; ritornerà indietro, ed escirà per questa l'acqua che aveva empito il tubo di salita. Tornerà quindi a chiudersi la valvula, ed a sollevarsi l'acqua per il tubo di salita, e così continuerà l'azione della macchina. La principal differenza fra questa e l'ariete ordinario consiste nel non rimaner costantemente pie-

no il tubo di salita, e nell'avervi come un'oscillazione continua di acqua.

Una macchina detta a colonna oscillante era stata dal medesimo Autore proposta all'Accademia delle Scienze di Parigi, che ne fece favorevole rapporto ne' 20 Agosto 1838 dietro la relazione di Coriolis. Le più notabili differenze che mi sembra presentare dal descritto ariete sono: che la la valvula stabilisce o interrompe la comunicazione tra il tubo orizzontale, e quello di salita, e che questo moto alla valvula è dato dall'acqua che cade dopo che è escita dal tubo di salita.

Il Manqury Dectot aveva pure imaginata una consimil macchina a colonna oscillante, nella quale il tubo di salita si scarica per un' interruzione che è al principio di quello; ed avanti a questa esiste un diaframma che è aperto dall'acqua saliente. Ma tali macchine, anzichè riguardarle come utili per il sollevamento dell'acqua, son da me rammentate sol per far comprendere l' applicazione del principio suddetto e l' analogia che presentano coll' ariete di Montgolfier.

264. *Ruote idrauliche, bindoli, ec.* La ruota idraulica, e particolarmente quella a pale piane si unisce alla vite d'Archimede, e meglio al timpano. Allora la macchina nell' insieme raccoglie l'azione della forza motrice, e solleva l'acqua.

Facile è intendere che la catena a secchie, può contemporaneamente funzionare da ricevitore, e da macchina elevatoria, supposto che si abbiano due catene di secchie volte in senso opposto come è la noria del Francini (Belidor Tom. II. Lib. IV. Cap. I. §. 1192.), ovvero supposto che ogni secchia sia tenuta in mezzo congiunta ad altre due volte in senso opposto. Mentre da un lato per circa la metà inferiore della caduta son caricate le secchie esterne dall'acqua che cade, dall'altro possono le secchie empirsi per poco meno della metà superiore, e l'acqua in queste sarà sollevata. Quello che ho detto delle secchie può ripetersi dei cappelletti, ed in generale di tutte quelle macchine che servono egualmente per elevatorie e per ricevitori di forza. Ed anche della bilancia idraulica. Due secchie siano attaccate ad una catena la quale passi sovra una carrucola: sia la prima un poco più pesante della seconda quando è piena e meno pesante quando è vuota. La sorgente ove possono riempirsi rimanga alla metà della corsa che esse fanno al girare della carrucola. Appena saranno ripiene la prima secchia discendendo farà salire la seconda, e se giunte al fine della loro gita per adattato congegno ivi si vuotino, la seconda ritornerà a riempirsi riconducendovi anche la prima e il giuoco seguiterà. Sù questo principio sono costruite le macchine del Finugio e di Bucket.

265. *Macchina pitottiana.* — A questa ha dato il Bernulli tal nome per l'analogia che mostra col tubo di Pitot. Finchè si tenga fermo questo tubo, e si lasci per forza della corrente entrare l'acqua dall'apertura inferiore, e riuscire dalla superiore unisce questa macchina l'ufizio di ricevitore e di elevatoria. Si può per altro ottenere l'urto anche quando non esiste corrente col far rotare il tubo attorno di un'asse, ed allora se il tubo è divergente dall'asse agirà insieme la forza centrifuga.

Della Pressa idraulica e di altre macchine elevatorie che funzionano anche da ricevitori.

266. *Pressa idraulica.* — Verso

la fine dell'ultimo secolo si applicò la pressione idraulica alla formazione di un potentissimo torchio detto comunemente pressa. Il principio d'eguaglianza di pressione applicato presentò il vantaggio, che si ha dal far riprodurre eguale per tutti i punti di una più estesa superficie, quella pressione che si era fatta in pochi punti, e con un aumento notabilissimo di sforzo. Componesi tal macchina (Tav. XI fig. 5) di una tromba aspirante e premente il cui corpo di tromba F ha lo stantuffo metallico E posto in moto dalla leva G. Questa agisce passando nel gambo I E dello stantuffo che si mantiene verticale per la guida I. La tromba prende l'acqua dal recipiente S, e la caccia pel tubo K nel cilindro vuoto di ferro fuso A; ove agisce pure uno stantuffo metallico B di diametro cinque volte più grande di quello della tromba. Lo stantuffo B porta un piano C guidato dalle due colonne Q Q, le quali sorreggono un simile piano fisso C. Fra questi due piani si fa la compressione nei corpi che vi si frappongono. Un' uomo farà sulla leva uno sforzo medio di 30^k, sarà quello trasmesso, meno qualchè leggera perdita resultante dalle resistenze passive, prima allo stantuffo della tromba aumentato nel rapporto del braccio della potenza al braccio della resistenza cioè di venti volte, e quindi sarà pur trasmesso allo stantuffo della pressa aumentandosi nella proporzione della superficie dei due stantuffi cioè di venticinque volte. Onde con tal pressa un uomo verrà a produrre uno sforzo di 15000^k. Affinchè sotto sì grande sforzo non si abbia a generare qualche guasto o esplosione suole usarsi una valvula di sicurezza che è fermata dal contrappeso *m* per mezzo di una leva di secondo genere.

267. ***Macchine colle quali l'acqua può pel principio della pressa da per se innalzarsi al di sopra del suo livello.*** — Analogamente al principio della pressa idraulica si possono imaginare altre macchine, e qui parlerò di due che servono all'innalzamento dell'acqua una di Belidor e l'altra di Denisard e Duelle. Per far comprendere il vantaggio di queste macchine pongo che in una città si abbia in un serbatojo l'acqua che ha da servire per alcune fonti in diversi quartieri, ma resti essa più bassa di altri quartieri ove pure si vorrebbe far salire. Potrà ottenersi che l'acqua non si conduca alle fontane più basse se non dopo averne fatta salire una porzione per i quartieri più elevati: così tutta l'acqua sarà impiegata utilmente, e non se ne avrà dispersione.

Nella macchina di Belidor supponesi che si abbia l'acqua in C (Tav. XI fig. 6), e per il tubo CD scendendo ad intermittenza getti dall'apertura E, e si sollevi mediante i tubi MGDF nel condotto G L. Per farla sollevare esiste la macchina nel tubo D F composta: 1.° di un rubinetto a squadra in D che mette in comunicazione alternativamente il tubo C D coll'altro D O, e questo DO con l'apertura E: 2.° di due tubi DO, FP di diametro differente connessi fra loro per mezzo del tubo aperto PO, entro al quale son due stantuffi *p q* proporzionati ai lor diametri, uniti anch'essi fra loro con un'asta S: 3.° di due valvule *m n* che sono nel tubo di salita G L, una poco al di sopra, e l'altra poco al di sotto della comunicazione col tubo F P, le quali si aprano di basso in alto: 4.° di un congegno *s r t i*, che gira il rubinetto al muoversi dell'asse traverso S unito all'asta degli stantuffi. L'acqua che cade dall'al-

tezza C D tenendo totalmente pieno questo tubo entra per l'altro M G nel tubo G L, apre le valvule *n m*, e tende a livellarsi sollevandosi nel punto E. E introducendosi da F in P, colla pressione F E spinge lo stantuffo *q* verso P, mentre per essere in comunicazione il tubo O D coll'apertura E e non con D C, esce da questa apertura l'acqua che era dietro allo stantuffo *p*. Frattanto al moversi della verga *s* vien girato il rubinetto, si pone il tubo O D in comunicazione col tubo CD, e la colonna d'acqua C D preme lo stantuffo grande *p*, e lo muove verso *r* vincendo la pressione che si fa dall'acqua sul piccolo stantuffo *q*; stà chiusa la valvula *n*, e si apre quella *m* sollevandosi l'acqua per il tubo G-L. Allora vien pur girato il rubinetto, e viene stabilita la comunicazione fra il tubo O D e l'apertura E, e l'acqua ripreme indietro lo stantuffo *q*, e successivamente in avanti lo stantuffo *p*, e così di seguito. In questo modo si porta l'acqua a sgorgare da L, se la superficie dello stantuffo *q* moltiplicata per l'altezza F L dà un prodotto minore di quello che si ottiene col moltiplicare la superficie dello stantuffo *p* per l'altezza D C. Perciò il sollevamento è dovuto alla differenza tra i due stantuffi *p q*. Alcune particolarità ho tralasciato nella descrizione della macchina che agevolmente si imaginano, come l'esser l'asta degli stantuffi sorretta da due rotelle, e il compiere il rubinetto quando ha cominciato a girare la sua gita per effetto di adattato contrappeso.

L'altra macchina di Denisard e Dueille è stata posta in azione ed ha sollevato a 32 piedi sei moggia di acqua per effetto di una caduta di nove piedi che dava 128 moggia d'acqua, onde il lavoro motore stava all'effetto utile

$$::128\times9:6\times32::1:0,17.$$

Piccolo effetto invero, pur non cessa perciò di comparire ingegnosa l'invenzione. In questa macchina (Tav. XI fig. 7) 1.° alternativamente i due tubi ITV, MG danno acqua per farla agire, 2.° alternativamente il tubo F di egresso, e l'altro Z Z di salita la ricevono: 3.° due stantuffi connessi A, B, e di differente diametro combaciano esattamente colle capacità del recipiente: 4.° tutti i detti tubi sono, verso la loro comunicazione colla macchina, muniti di valvule, le quali si muovono coll'alzarsi o abbassarsi dei dadi M-N e della vite cui essi appartengono, e mediante il contrappeso OQ. Questo contrappeso è formato da due cassette ripiene in parte di acqua, e comunicanti fra loro per mezzo di due tubi. Perciò quando all'inalzarsi della vite il dado N solleva la parte O del contrappeso oltre l'orizzontalità, l'acqua scorre dalla cassetta O a quella Q, e decide maggiormente il moto del contrappeso; esso urta nelle traverse unite alle verghe R, S, e sollevando o abbassando queste gira le leve H K, apre contemporaneamente le valvule che sono ai due tubi da una parte, e chiude quelle che sono dall'altra parte. Essendo aperte le valvule in H e chiuse quelle in K, entra l'acqua colla pressione T I sotto lo stantuffo A, e lo spinge in alto facendo sgorgare l'acqua che è al di sopra per F, e facendo sollevare sull'asta C un peso capace di esser vinto da quella pressione estesa per tutta la superficie del grande stantuffo A. Sollevasi pure la vite M N che per mezzo del contrappeso chiude le valvule in H ed apre quelle in K. Allora per il tubo G di discesa entra acqua

al di sopra dello stantuffo A, ed esso vien premuto in basso dalla pressione che vi fa l'acqua, e da quella del peso dianzi sollevato, e con questa forza vien cacciata l'acqua che vi era sotto pel tubo di salita ZZ. Qui ben si scorge che quanto è minore la differenza fra i due stantuffi, tanto più alta può sollevarsi l'acqua.

Di diversi apparati idraulici

269. *Regolatori per la misura dell'acqua.* — A quello che ho esposto sui modi idrometrici (141 *eseg.*) aggiungerò qui l'uso dei regolatori. Il Guglielmini per trovare la misura delle acque ha suggerito di ridurre una sezione del canale a forma di un rettangolo con soglia piana orizzontale, e colle sponde verticali, e di adattarvi una cateratta che si possa calare dall'alto fin sotto il pelo della corrente. In tal modo alzandosi sulle prime il livello nel tratto superiore e riducendosi poi a permanenza, tutta l'acqua del canale, sarà obbligata a passare nella sezione artificiale tra il bordo sotto la cateratta la soglia e gli stipiti. Questa luce rettangola potrà aversi come praticata nella parete di un vaso inesausto, ed indicata con a l'altezza di essa, e con a' il battente d'acqua appoggiato alla cateratta la velocità media dell'efflusso dal regolatore sarà dovuta all'altezza (65)

$$A = \frac{4}{9a^2}\left[(a'+a)^{3/2} - a^{3/2}\right]^2$$

ed indicata con s l'area della luce, sarà la portata per ogni minuto secondo

$$Q = s\sqrt{\left[\frac{8}{9}\,\frac{g}{a^2}(a'+a)^{3/2} - a^{3/2}\right]}$$

Conviene per l'uso di questa formula profondare assai la cateratta sotto il livello o pelo d'acqua, perchè possa trascurarsi l'effetto dell'urto e del rigurgito che fanno le acque affluenti nella cateratta. Inoltre qualche incertezza si avrà nel valutare l'area s atteso la differente contrazione che si fa ai diversi lati. Il Maufredi aggiunge ancora che il più delle volte, cioè quando il pelo dell'acqua nel canale inferiore sorpassa la soglia, si ha un'impedimento all'efflusso cagionato dal non seguire lo sgorgo libero nell'aria.

Il Venturoli suggerisce di abbassare la cateratta fin dentro la scanalatura della soglia inferiore ed aprire nel mezzo di essa, ove sia una lastra di ferro, la luce abbastanza distante sì dal fondo che dai lati, e prendere per il coefficiente d'efflusso $^5/_8$. Come anche di ritardare il corso dell'acqua al di sotto del regolatore col ristringere o chiudere in parte qualche sezione del canale obbligando così l'acqua inferiore a rialzarsi ed a formare un controbattente alla cateratta del regolatore. Allora, egli dice, è certo che da tutti i punti della luce del regolatore l'acqua escirà colla velocità dovuta (78) alla differenza A' del livello de' due battenti e sarà anche pienamente assicurato il valore di A, e indicata con b la larghezza dell'apertura, la semplice formula

$$Q = {}^5/_8\, ab\sqrt{2gA'}$$

darà la portata. Non parmi però che potrà mai tenersi come stagnante l'acqua inferiore alla cateratta come si richiederebbe, pure lo stesso difetto avendosi al tratto superiore a quella, resterà in parte compensato.

Il Prony ha proposto per il regolatore la seguente costruzione che rende pure immune il regolatore del Guglielmini dalle notate difficoltà, ma

impegna in pratica ad operazioni difficili, e delicate le quali non bene eseguite, porteranno non piccol divario nel calcolo della portata. Si applichi il regolatore Guglielmini alla sezione R, (Tav. XI fig. 8) e scelgasi un'altra sezione C trenta o quaranta metri al di sopra o più se potrassi. Ivi chiudasi il canale obbligando l'acqua a passare nel tratto CR per i due canaletti EFG, *efg* alle estremità de' quali saranno apposte due cateratte G,*g*. Queste si chiudano durante l'esperienza, quando avrà l'acqua acquistato nel tratto CR posizione stabile. Qui non entrando più acqua si sbasserà il livello per l'efflusso che se ne fa dalla luce del regolatore. Si noti a due intervalli differenti di tempo T T′ lo sbassamento del livello presso la cateratta del regolatore, e sia questo respettivamente z, z'. Indicando con S la superficie del tratto CR, siccome abbassasi con moto uniformemente ritardato il livello in un vaso prismatico che si vuota, e di questa forma convien che sia il tratto CR, si avrà (68)

$$z = \frac{T s \sqrt{2gA}}{S} - \frac{T^2 s^2 g}{2S^2}$$

$$z' = \frac{T' s \sqrt{2gA}}{S} - \frac{T'^2 s^2 g}{2S^2}$$

Ora supposto che sia $T' > T$ sottraendo la seconda equazione moltiplicata per T^2 dalla prima moltiplicata per T'^2 avremo la portata

$$Q = S \frac{T'^2 z - T^2 z'}{T T'^2 - T^2 T'}$$

e perciò indipendente dai difetti che possono essere nelle quantità s ed A e dal rigurgito, perchè le celerità dell'acqua affluente per l'opposizione dei due canali G *g* non può portare che degli ondeggiamenti.

270. *Idrometri, e idrometrografi.* Misurasi l'altezza a cui l'acqua è giunta nelle diverse piene di un fiume col mezzo degli idrometri, i quali il più delle volte non hanno che la divisione verticale incisa in una lastra di marmo fissata in un muramento. Nè occorre altro, giacchè la corrente lascia sempre delle tracce di depositi al punto massimo che ha bagnato. E facile sarebbe d'altronde il porre un galleggiante annesso alla divisione che per una ruota a cricchetto o altro simile meccanismo, rimanesse fisso al luogo ove si è sollevato. Più interessa di studiare il punto di partenza della divisione, e la posizione ove si colloca l'idrometro. Per il punto di partenza sembrami da preferirsi il livello basso del mare, ma vorrei che anche si notasse la divisione che corrisponde nell'epoca che è messo l'idrometro al fondo dell'alveo, come fosse marcato il punto delle più elevate piene accadute. Circa il luogo ove si hanno da collocare, deve distinguersi l'uso che se ne vuol fare, cioè se per valutare la portata del fiume, o per avvisare il pericolo in cui pone la piena. Nel primo caso verrà collocato nei tratti del fiume più rettilinei e regolari: nel secondo ove può con maggior facilità temersi un ventre della piena, in quelli ove è massima la irregolarità della pendenza, o dove le tortuosità o i ristringimenti ritardano la corrente.

Sono stati imaginati ancora gli idrometrografi per avere la successione delle altezze dell'acqua e il tempo per il quale si sono le acque mantenute ad una data altezza.

Un idrometrografo preciso son di sentimento che possa ottenersi unendo un galleggiante al dinamometro a stili di Arturo Morin (*Int.* 199) nel modo che son per dire. Rappresenti MN, (Tav. XI fig. 9) il dinamometro con molle ridotte a forza moderata, e in cui la carta è mossa da un

cronòmetro S. La corda CDEF passando per due puleggie DE fisse lega alla staffa C del dinamometro il tubo metallico galleggiante FG contrappesato dal peso P. Il galleggiante più resta immerso, quanto maggiormente si solleva l'acqua, e più cresce la sua spinta verticale colla quale sforza il dinamometro. La curva che descrive lo stilè del dinamometro avrà i tempi per ascisse, e le altezze dell'acqua per ordinate. Affinchè poi la corrente non abbia a fare oscillare il galleggiante o aumentare lo sforzo sulla corda si involgeranno in un cilindro fatto di lamiera sparso di fori la corda e il galleggiante.

271. *Con correnti opposte comunicar moto nello stesso senso.* — Si sono imaginate alcune disposizioni che costringono il flusso e riflusso del mare a muover delle ruote sempre nel medesimo verso. Quella riportata dal Belidor consiste in tre canali (Tav. XI fig. 10) dei quali il medio KCM si chiude con due paratoje in B ed E, e gli altri due CDL, HFI si chiudono colle paratoje DF. Quando la marea cresce, l'acqua del mare entri dalla parte M ed esca da quella K per andare in un gran serbatojo: si levano le paratoje B, E, e si abbassano le altre D, F: l'acqua passando pel canale di mezzo fa girare la ruota C quattro ore e $^1/_2$ circa delle 6 della marea crescente. Quando il mare comincia ad abbassarsi si chiudono le paratoje E, B e si aprono D, F: l'acqua del serbatojo passerà sotto la ruota C nella stessa direzione di prima, e fuggirà pel canale HFI nel mare.

Il Navier nelle sue note al citato Autore avverte che a tale oggetto è stata usata una disposizione del tutto meccanica. La ruota gira ne' due sensi opposti per le due opposte maree, ma essa per effetto di un ingranamento concentrico comunica moto ad un'albero verticale, col mezzo di un rocchetto che ingrana dalla parte inferiore della ruota quando il mare cresce, e col mezzo di altro rocchetto che ingrana dalla parte superiore allorchè il mare si abbassa; perciò l'albero acquista sempre moto nello stesso senso. In questa disposizione non deve l'assistente mutare che l'imboccatura dei rocchetti, che sono a ruote libere (*Mec.* 275); mentre nella prima disposizione dovrebbe aprire alcune paratoje e chiuderne altre. Facilmente si scorge che invece delle paratoje potranno usarsi delle porte unite ad angolo (181), le quali all'uopo verranno aperte dalla pressione stessa dell'acqua.

FINE

INDICE ANALITICO DELLE MATERIE

CAPITOLO I.

Dell' equilibrio e della pressione dei liquidi.

§. 1. *Nozioni preliminari* . . . . . pag. 3

Dei liquidi equilibrati nei vasi

» 2. *Equilibrio nei liquidi e dilucidazione del principio di Pascal* « 4
» 3. *Equilibrio dei liquidi gravi omogenei* . . . . . » 5
» 4. *Pressioni nei differenti strati della massa liquida* . . . . » ivi
» 5. *Nei vasi comunicanti i piani di livello son tutti sul prolungamento dello stesso piano orizzontale* . . . . . » 6
» 6. *Equilibrio nei liquidi eterogenei* . . . . . » ivi
» 7. *Nei vasi comunicanti i liquidi eterogenei si inalzano ad altezze reciproche alle loro gravità specifiche.* . . . . . » ivi
» 8. *Effetti della Capillarità.* . . . . . » 7
Tavola sulla Capillarità di diversi liquidi . . . . . » 8
Tavola per il barometro sulla capillarità del Mercurio. . » ivi
« 9. *Pressioni contro le pareti orizzontali dei vasi* . . . . . » ivi
» 10. *Pressione sulle pareti verticali o inclinate nei vasi.* . . . » 9

Applicazioni

» 11. *Pareti di egual resistenza* . . . . . » 10
» 12. *Fermezza degli argini, e quando essi acquistino stabilità all' alzarsi dell' acqua nei fiumi* . . . . . » ivi
» 13. *Determinazione della grossezza delle saracinesche* . . . . » 11
» 14. *Della resistenza dei tubi.* . . . . . » ivi

Centro di pressione

» 15. *Centro di pressione* . . . . . » 12
» 16. *Determinazione del centro di pressione nelle differenti figure.* » 13
» 17. *Applicazioni alla stabilità delle serre.* . . . . . » 14

Corpi immersi nei liquidi

» 18. *Pressioni sopra i solidi immersi nei liquidi* . . . . . » ivi
» 19. *Principio d' Archimede o spinta verticale* . . . . . » 15
» 20. *Determinazione del volume di un corpo per mezzo della spinta verticale* . . . . . » 16
» 21. *Differenti spinte che soffrono i corpi di egual peso e di differente gravità specifica* . . . . . » ivi
» 22. *Determinare la gravità specifica dei solidi per mezzo della bilancia idrostatica.* . . . . . » ivi
» 23. *Problema della Corona* . . . . . » 17

§ 24. *Determinare la gravità specifica dei liquidi per mezzo della bilancia idrostatica* . . . . . pag. 17

Galleggianti e Areometri

» 25 *Galleggianti* . . . . . » 18
» 26. *Equilibrio dei Galleggianti* . . . . . » ivi
» 27. *Stabilità nei Galleggianti* . . . . . » 19
» 28. *Areometro-bilancia* . . . . . » 20
» 29. *Areometro ad immersione variabile* . . . . . » 21

CAPITOLO II.

Dei livelli e della livellazione e di altri apparati idrostatici

» 30. *Superficie della livellazione.* . . . . . » 22

Livelli

» 31. *Scopo, o asta per la livellazione.* . . . . . » ivi
» 32. *Livello ad acqua* . . . . . » 23
» 32. bis *Livelli a galleggiante, a pendolo, a filo a piombo, e a bolla d' aria* . . . . . » ivi
» 33. *Costruzione, e squisitezza della bolla* . . . . . » 24
» 34. *Descrizione di un livello a bolla d' aria con cannocchiale acromatico* . . . . . » 25

Livellazione

» 35. *Livellazione ad acqua stagnante* . . . . . » 26
» 36. *Uso dei livelli* . . . . . » 27
» 37. *Appuntare, e stendere il profilo della livellazione.* . . . . » 28
» 38. *Determinare col calcolo la differenza di livello tra i due estremi del tratto livellato* . . . . . » ivi

Correzione del livello, e rettificazione dello strumento che si usa nella livellazione

» 39. *Correzione del livello* . . . . . » 29
Tavola per la correzione da eseguirsi in ogni battuta . . » 30
» 40. *Rettificazione dello strumento a cannocchiale capovolgibile* » ivi
» 41. *Rettificazione che può farsi in un livello anche non munito di cannocchiale capovolgibile* . . . . . » ivi

Altimetria barometrica, e termometrica

» 42. *Uso del barometro per misurare le altezze* . . . . . » 31
» 43. *Formula che può usarsi per aver la misura delle altezze col barometro.* . . . . . » 32
» 44. *Misura delle altezze col mezzo del termometro* . . . . . » 33
Tavola delle tensioni del vapore da 100° a 90° per l'altimetria » 34

Del Sifone, e della Fontana d' Herone

» 45. *Sifone* . . . . . » 35
» 46. *Diverse forme del sifone* . . . . . » ivi
» 47. *Fontana d' Herone* . . . . . » 36

Diversi modi di produrre una pressione costante o un getto costante

» 48. *Del Trabocco* . . . . . » 37
» 49. *Galleggiante di Prony* . . . . . » ivi
» 50. *Vaso di Mariotte* . . . . . » ivi
» 51. *Sifone Galleggiante.* . . . . . » 38

§ 52. *Lampade idrostatiche* . . . . . pag. 38

CAPITOLO III.

Del moto dell'acqua nell'efflusso da un vaso inesausto per un foro scolpito in lastra sottile.

» 53. *Teorema del Torricelli* . . . . . » 39
» 54. *Lo stesso teorema conviene a tutti i liquidi* . . . . . » 40
» 55. *Le velocità sono come le radici quadrate dell'altezza* . . » ivi
Tavola per confermare questo teorema . . . . . » 41
» 56. *Caso di una pressione aggiunta*. . . . . » ivi
» 57. *Teorema del Castelli* . . . . . » ivi
» 58. *Leggi del movimento dell'acqua entro al vaso* . . . . . » 42
» 59. *Leggi del movimento del liquido all'escire dal vaso* . . . » 43
» 60. *Efflusso sotto molto piccoli carichi* . . . . . » 44
» 61. *Contrazione della vena* . . . . . » ivi
Tavola per questa contrazione. Luci diverse . . . . . » 45
Tavola per questa contrazione. Luci rettangolari. . . . » 46
Tavola per questa contrazione. Luci circolari . . . . . » 47
» 62. *Portata teorica e reale degli orifizi in lastra sottile* . . . » 48
» 63. *Portata teorica e reale dei medesimi orifizi a carichi molto piccoli*. . . . . » ivi
» 64. *Portata degli orifizi che han differente figura*. . . . . » 49
Tavole di resultati sperimentali. . . . . » ivi
» 65. *Legge sull'abbassamento di livello nei vasi che si vuotano* . » 50
» 66. *Clepsidre* . . . . . » ivi
» 67. *Pressione prodotta dall'acqua in movimento* . . . . . » ivi
» 68. *Tempo impiegato dal vaso prismatico per vuotarvi o per abbassare il livello di una certa altezza*. . . . . » 51
» 69. *Portata dei vasi che si vuotano* . . . . . » ivi

CAPITOLO IV.

Del moto dell'acqua nell'efflusso dei vasi composti

» 70. *Dei fori in lastra sottile*. . . . . » 52
» 71. *Quando sia in parte soppressa la contrazione* . . . . . » ivi

Tubi addizionali

» 72. *Tubo addizionale cilindrico* . . . . . » ivi
Tavola di resultati sperimentali . . . . . » ivi
» 73. *Pressione negativa del liquido contro le pareti del tubo* . . » 53
» 74. *Tubo addizionale conico convergente*. . . . . » ivi
Tavola di resultati sperimentali . . . . . » 54
» 75. *Tubo addizionale conico divergente* . . . . . » 55
Tavole di resultati sperimentali. . . . . » ivi

Dei vasi comunicanti

» 76. *Vuotamento di un vaso che riceve un'afflusso da altro recipiente*. . . . . » 56
» 77. *Contrazione della vena per i getti nell'acqua* . . . . . » ivi
» 78. *Livellazione in due vasi comunicanti per un piccolo orifizio* » 57
» 79. *Efflusso da un vaso che comunica con altro vaso* . . . . » ivi
» 80. *Considerazioni relative alla pratica* . . . . . » 58

§ 81. *Dell'orizzontale di demarcazione, ed uso che se ne fa nella pratica* . . . . . pag. 58
» 82. *Efflusso dai vasi costantemente pieni interrotti da diaframmi* » 59
» 83. *Efflusso dai vasi suddetti quando si vuotano* . . . . . » ivi
» 84. *Considerazioni relative alla pratica* . . . . . » 60

Dell' acque zampillanti

» 85. *Teoria generale dei getti verticali di acqua* . . . . . » ivi
» 86. *Altezza reale dei getti verticali* . . . . . » 61
Tavola sulla differenza tra la teoria e la pratica . . . ivi *e a* 62
» 87. *Effetto dei tubi addizionali* . . . . . » 62
» 88. *Effetto dei tubi di condotta* . . . . . » ivi
» 89. *Getti inclinati all'orizzonte* . . . . . » ivi
» 90. *Getti orizzontali* . . . . . » 63
» 91. *Deduzioni per la pratica, e scherzi idraulici* . . . . . » ivi

CAPITOLO V.

Del moto dell'acqua per i tubi e per i canali scoperti.

» 92. *Analogia tra i tubi, i condotti aperti, e i vasi* . . . . . » 64

Del moto dell' acqua nei tubi

» 93. *Espressione della resistenza dei condotti rettilinei* . . . . » ivi
» 94. *Portata dei tubi, e ricerca di altri loro elementi* . . . . . » 65
» 95. *Resultati sperimentali* . . . . . » ivi
» 96. *Effetto dei tubi addizionali posti all' estremità dei condotti* » 67
» 97. *Resistenza dei tubi ricurvi e colle gomitate* . . . . . » 68
» 98. *Resistenza dei tubi cogli angoli* . . . . . » 70
» 99. *Resistenza delle strozzature e dei rigonfiamenti nei tubi* . » ivi
» 100. *Osservazione per la pratica* . . . . . » 71
» 101. *Pressione sopra i diversi punti nei tubi* . . . . . » 72
» 102. *Resistenza nei sistemi di condotti* . . . . . » 73
» 103. *Perdita dovuta al cangiamento di direzione* . . . . . » ivi
» 104. *Perdita dovuta all' erogazione* . . . . . » 74
Tavola di resultati sperimentali . . . . . » ivi

Dispensa delle acque

» 105. *Condizioni per la uniforme dispensa dell' acqua* . . . . » ivi
» 106. *Forma e grandezza delle luci* . . . . . » 75
» 107. *Disposizione delle bocche* . . . . . » ivi
» 108. *Dispense costanti prese dai canali a pelo d'acqua variabile* » 76
» 109. *Bocca di dispensa inalterabile* . . . . . » ivi
» 110. *Osservazioni sulla costruzione de' tubi di condotta* . . . » 77
Tavola sulla resistenza dei tubi . . . . . » 78

Del moto dell'acqua nei canali

» 111. *Forza acceleratrice dell' acqua* . . . . . » ivi
» 112. *Forza ritardatrice dell' acqua* . . . . . » ivi
» 113. *Velocità media* . . . . . » 79
» 114. *Figura da preferirsi per i canali* . . . . . » ivi
» 115. *Moto uniforme* . . . . . » 80
Tavola per il calcolo di questo moto . . . . . » 81
» 116. *Moto permanente* . . . . . » ivi

§ 117. *Moto dell' acqua nei canali scoperti di piccola lunghezza* pag. 82
» 118. *Presa dell' acqua per i canali* . . . . . » ivi
» 119. *Classazione dei canali* . . . . . » 83
» 120. *Condizioni richieste per i canali di scolo* . . . . . » ivi
» 121. *Condizioni richieste nei canali di navigazione*. . . . . » 84
» 122. *Condizioni richieste nei canali da opifici; e lavoro meccanico di una corrente*. . . . . » 85
Tavola di velocità e di altezze dovute . . . . . » 86

CAPITOLO VI.

Dei fiumi e degli istrumenti idrometrici

» 123. *Origine degli alvei dei fiumi* . . . . . » 87
» 124. *Dei piani inclinati che determinano la posizione delle acque* » ivi
» 125. *Materie che sono nell' alveo* . . . . . » 89
» 126. *Come possono aversi alvei stabiliti* . . . . . » ivi
» 127. *Caratteri dell' alveo stabilito*. . . . . » 90
Tavola sul livello de' principali punti dell'alveo dell'Arno » 91
Tavola sulle pendenze del corso dei fiumi . . . . . » ivi
Tavola sovra gli elementi di alcuni corsi d'acqua. . . . » 92
» 128. *Relazione tra la forma dell'alveo, e la velocità*. . . . . » 93
» 129. *Tavola sulla portata del Reno* . . . . . » 95
» 130. *Della foce* . . . . . » 96
» 131. *Delle chiuse* . . . . . » ivi
» 132. *Confluenti*. . . . . » 97
» 133. *Diversivi* . . . . . » 98
» 134. *Rigurgiti provenienti da diverse cagioni* . . . . . » 99
» 135. *Di alcuni ostacoli che si oppongono alla corrente ed in specie dei pennelli* . . . . . » 101
» 136. *Delle masse molenti, e dei moti vorticosi* . . . . . » 103
» 137. *Delle piene* . . . . . » 104
Tavola sulla chiamata dello sbocco dell' Arno . . . . . » 105
Tavola sì rigurgiti ai ponti dell' Arno . . . . . » ivi
Tavola sulle piene dell' Arno. . . . . » 106
Tavola sulle piene del Serchio . . . . . » ivi
» 138. *Delle nuove inalveazioni* . . . . . » 107
» 139. *Della pressione prodotta dall' acqua dei fiumi, e della battuta* » 109
» 140. *Della scala delle velocità* . . . . . » 110
Tavola sulla velocità media . . . . . » 111

Strumenti idrometrici

» 141. *Classazione degli istrumenti idrometrici*. . . . . » ivi
» 142. *Galleggiante semplice* . . . . . » ivi
» 143. *Galleggiante composto* . . . . . » 112
» 144. *Asta ritrometrica del Bonati* . . . . . » ivi
» 145. *Volante a pale* . . . . . » ivi
» 146. *Reometro o mulinello di Woltmann* . . . . . » 113
» 147. *Tubo di Pitot* . . . . . » 114
» 148. *Pendolo semplice* . . . . . » ivi
» 148. bis. *Pendolo composto* . . . . . » 115

§ 149. *Ventola di Ximenes* . . . . . pag. 115
» 150. *Tachometro di Brunings* . . . . . » 116
» 151. *Osservazione generale.* . . . . . » ivi

CAPITOLO VII.

Della Pressione idraulica e dell'urto di una vena fluida e della resistenza ne' liquidi.

» 152. *Analogia tra l'urto e la pressione de' fluidi* . . . . . » ivi

Urto di una vena fluida isolata.

» 153. *Misura dell'urto diretto* . . . . . » 117
» 154. *Misura dell'urto obliquo* . . . . . » 118
» 155. *Resultati d'esperienze sull'urto di una vena fluida isolata contro una lastra* . . . . . » 119
Tavola sul coefficiente dell'urto. . . . . . » 120. 121. 122
» 156. *Reazione della vena fluida contro i vasi* . . . . . » 122

Resistenza in un mezzo indefinito.

» 157. *Della comunicazione laterale del moto ne' fluidi* . . . . » 123
» 158. *Corpi mossi in un mezzo indefinito* . . . . . » ivi
» 159. *Poppa e prua fluida* . . . . . » ivi
» 160. *Pressioni sui corpi mossi ne' fluidi* . . . . . » 124
» 161. *Resultati d'esperienze.* . . . . . » ivi
» 162. *Urto o resistenza in un mezzo indefinito* . . . . . » 125
» 163. *Resultati d'esperienze* . . . . . » 127
Tavola sulla resistenza contro i piani obliqui . . . . . » 128

Resistenza pei galleggianti.

» 164. *Dei corpi galleggianti* . . . . . » 129
» 165. *Resultati d'esperienza, e tavola relativa* . . . . . » 130
» 166. *Esempio per la navigazione de' battelli su canali o fiumi di gran sezione* . . . . . » 131

Resistenza ne' canali stretti.

» 167. *Effetto della resistenza del canale.* . . . . . » ivi
» 168. *Resultati d'esperienze.* . . . . . » 132
» 169. *Esempio per la navigazione di battelli per canali stretti* . » 133

CAPITOLO VIII.

Dell'acqua considerata come motore, e della composizione delle macchine idrauliche.

» 170. *Composizione delle macchine idrauliche* . . . . . » ivi

Dell'acqua considerata come motore.

» 171. *Senza caduta non si ha forza motrice dell'acqua. Limitazione di questo teorema* . . . . . » 134
» 172. *Lavoro meccanico dell'acqua* . . . . . » 135
» 173. *Lavoro trasmesso alla macchina e lavoro utile* . . . . . » 136
» 174. *Dell'acqua considerata come motore* . . . . . » 137
» 175. *Relazione tra l'effetto utile e le forze vive all'entrata e all'uscita del ricevitore* . . . . . » 138
» 176. *Maximum assoluto dell'effetto utile, e condizioni per ottenerlo* . . . . . » ivi

Degli Organi idraulici.

§ 177. *Classazione degli organi idraulici.* . . . . . pag. 139
» 178. *Vasi e recipienti* . . . . . » ivi
» 180. *Seracinesche o cateratte* . . . . . » ivi
» 181. *Porte.* . . . . . » 140
» 182. *Portelli e animella* . . . . . » ivi
» 183. *Valvule a sportelli e a disco* . . . . . » 141
» 184. *Valvule coniche.* . . . . . » ivi
» 185. *Valvula a palla* . . . . . » ivi
» 186. *Valvula idraulica* . . . . . » ivi
» 187. *Valvula di sicurezza* . . . . . » 142
» 188. *Teoria per le valvule, e per le cannelle con chiave o rubinetti* » ivi
» 189. *Rubinetto o chiave da fontana* . . . . . » 143
» 190. *Rubinetto, e valvule a molla* . . . . . » ivi
» 191. *Rubinetti, e valvule galleggianti* . . . . . » ivi
» 192. *Rubinetti per dare acqua in più direzioni.* . . . . . » ivi
» 193. *Rubinetto a valvula* . . . . . » 144
» 194. *Rubinetti a farfalla, e a disco rotante.* . . . . . » ivi
» 195. *Teoria dello stantuffo* . . . . . » ivi
» 196. *Diversi modi di fare gli stantuffi* . . . . . » 145
» 197. *Stantuffi metallici* . . . . . » ivi
» 198. *Delle pareti mobili.* . . . . . » 146
» 199. *Dei mantici ed altri consimili congegni* . . . . . » ivi
» 200. *Delle pale* . . . . . » ivi
» 201. *Bocche che danno acqua alle macchine* . . . . . » 147
» 202. *Serbatoj muniti di diversivi* . . . . . » 148
» 203. *Perdita di caduta proveniente dall'uso de' serbatoj secondarj* » ivi
» 204. *Del serbatojo, e del canale* . . . . . » 149

CAPITOLO IX.

Dei Ricevitori idraulici.

» 205. *Divisione generale* . . . . . » ivi

Dei Ricevitori a moto alternativo.

» 206. *Bilancia idraulica* . . . . . » ivi
» 207. *Macchina a colonna d'acqua* . . . . . » 150

Dei Ricevitori a catena continua.

» 208. *Catena a cassette* . . . . . » 153
» 209. *Catena a cappelletti* . . . . . » ivi

Ruote idrauliche verticali.

» 210. *Ruote verticali* . . . . . » 154

Ruote a cassette.

» 211. *Ruote a cassette che ricevono l'acqua alla sommità* . . . . » ivi
» 212. *Lavoro meccanico che si imprime alla ruota* . . . . . » 155
» 213. *Disposizione della ruota da preferirsi* . . . . . » 157
» 214. *Rapporto tra il lavoro motore, e l'effetto utile ottenuto da questa ruota* . . . . . » 158
» 215 *Ruote a cassette di grandissimo diametro* . . . . . » ivi
» 216. *Ruote a cassette con grand' altezza d'acqua alla sommità.* » 159

§ 217. *Ruote a cassette che ricevon l'acqua al di sotto della sommità* . . . . . pag. » 159

Ruote a pale.

» 218. *Ruote a pale piane cinte da condotto circolare* . . . . . » 160
» 219. *Teoria delle suddette Ruote* . . . . . » ivi
» 220. *Rapporto tra il lavoro motore e l'effetto utile ottenuto da questa ruota* . . . . . » 161
» 221. *Ruote a pale che ricevon l'acqua per disotto* . . . . . » ivi
» 222. *Teoria delle suddette ruote* . . . . . » 162
» 223. *Rapporto tra il lavoro motore e l'effetto utile che da questa ruota si è ottenuto* . . . . . » ivi
» 224. *Ruote a pale curve contenute in breve corsìa circolare* . . » 163
» 225. *Teoria delle suddette ruote* . . . . . » ivi
» 226. *Rapporto tra l'effetto utile e il lavoro motore* . . . . . » 164

Ruote che si muovono in un mezzo indefinito.

» 227. *Caso in cui le pale incassate nella corsìa lasciano un vano considerevole* . . . . . » ivi
» 228. *Ruote pendule.* . . . . . » ivi

Ruote idrauliche orizzontali.

» 229. *Ritrecini o turbini* . . . . . » 165

Ruote a pale impiantate in un cilindro.

» 230. *Ruote a pale curve che restituiscono l'intiero lavoro motore* » ivi
» 231. *Ruote che agiscono entro un cilindro.* . . . . . » 166
» 232. *Ruote mosse dall'urto di una vena fluida* . . . . . » 167
» 233. *Rapporto tra l'effetto ottenuto da questa ruota e il lavoro motore.* . . . . . » 168

Ruote orizzontali a getti.

» 234. *Teoria delle ruote orizzontali quando l'acqua si allontana, o si avvicina al centro* . . . . . » ivi
» 235. *Trottola o ruota conica* . . . . . » 169
» 236. *Danaide di Carnot e di Burdin.* . . . . . » ivi
» 237. *Turbine di Burdin a pressione* . . . . . » 170

Ruote con pale esterne separate dal cilindro centrale.

» 238. *Ruote orizzontali di Poncelet* . . . . . » ivi
» 239. *Ritrecini a cassette* . . . . . » 171
» 240. *Turbini di Furneyron* . . . . . » 172
» 241. *Teoria dei precedenti turbini.* . . . . . » 173
» 242. *Rapporto tra l'effetto della macchina e il lavoro motore, e vantaggi di essa.* . . . . . » 174
» 243. *Regole per la costruzione e per lo stabilimento del turbine* » 175

Macchine a reazione.

» 244. *Come la reazione dia movimento* . . . . . » 176
» 245. *Macchine di Manouri, e di Eulero.* . . . . . » ivi
» 246. *Ruote da battelli a vapore.* . . . . . » 177
» 247. *Ruote ad elice ed altri consimili meccanismi, recentemente usati nei battelli.* . . . . . » 178
» 248. *Osservazione generale sulla scelta dei ricevitori* . . . . » 179

CAPITOLO X.

Delle Macchine idrauliche.

§ 249. *Soggetto del Capitolo* . . . . . pag. 180

Trombe o macchine ad aspirazione e a pressione.

» 250. *Tromba aspirante* . . . . . » ivi
» 251. *Tromba premente* . . . . . » 182
» 252. *Canna idraulica, e tromba a spirale* . . . . . » 183
» 253. *Tromba aspirante e premente* . . . . . » 184
» 254. *Variazioni nelle costruzioni delle trombe a moto alternativo* » 186
» 255. *Trombe a moto rotatorio* . . . . . » 188

Delle macchine elevatorie a recipienti o di quelle analoghe ai ricevitori.

» 256. *Di questa analogia. Dei secchi, e della gottazza olandese. Della noria, e delle ruote a cassette imperniate* . . . » 189
» 257. *Macchine dei cappelletti. Ruote a pale in corsia circolare* . » 190

Delle macchine elevatorie a piano inclinato, a forza centrifuga, ed a capillarità o adesione.

» 258 *Bilancia a zig-zag, e timpano* . . . . . » 191
» 259. *Vite d'Archimede* . . . . . » 192
» 260. *Ruota e tromba a forza centrifuga* . . . . . » 194
» 261. *Macchina a corda* . . . . . » ivi
» 262. *Osservazioni generali sovra le diverse macchine elevatorie* » 195

Delle Macchine elevatorie per urto e che funzionano anche da ricevitori.

» 263. *Ariete idraulico* . . . . . » 196
» 264. *Ariete ad una sola valvula, e colonna oscillante* . . . . » 198
» 265. *Ruote idrauliche, bindoli, ec.* . . . . . » 199
» 266. *Macchina pitotiana* . . . . . » ivi

Della Pressa idraulica, e di altre macchine elevatorie che funzionano anche da ricevitori.

» 267. *Pressa idraulica* . . . . . » 200
» 268. *Macchine colle quali l'acqua può col principio della pressa da per se inalzarsi al di sopra del suo livello* . . . . » ivi

Di diversi apparati idraulici.

» 269. *Regolatori per la misura dell'acqua* . . . . . » 202
» 270. *Idrometri e idrometrografi* . . . . . » 203
» 271. *Con correnti opposte comunicar moto nello stesso senso* . » 204